

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR



FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRIA EN REDES DE COMUNICACIONES

TESIS DE GRADO

TEMA:

“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED DE TRANSPORTE DE VIDEO EN TIEMPO REAL EN IPV4 MEDIANTE PROTOCOLO UNICAST, DIRIGIDO A EMPRESAS DE POST-PRODUCCIÓN/EDICIÓN DE CONTENIDO MULTIMEDIA CON CALIDAD DE SERVICIO”

CRISTIAN RICARDO YÁNEZ MORALES

TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MASTER EN REDES DE COMUNICACIONES

QUITO – 2017

DECLARACIÓN

Yo, Cristian Ricardo Yáñez Morales, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador – PUCE, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y normatividad institucional vigente.

Cristian Ricardo Yáñez Morales

C.C. 1713024618

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios, ya que por su amor y guía, vivo cada momento de mi vida.

A mi esposa Mercy, mis hijos Camila y Gabriel y a mamá Emma. Que sin su apoyo y amor no podría haber terminado este proyecto.

A Gustavo Chafra, por su apoyo para concluir este trabajo.

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL.....	iii
INDICE DE FIGURAS.....	iv
INDICE DE TABLAS	x
INTRODUCCIÓN	xii
1. CAPITULO 1:.....	1
MARCO REFERENCIAL.....	1
2. CAPÍTULO 2:.....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
3. CAPÍTULO 3:.....	51
ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL TRÁFICO DE VIDEO	51
4. CAPÍTULO 4.....	70
DISEÑO DE UNA RED DE CONTRIBUCIÓN QUE CUMPLA CON LOS ÍNDICES DE CALIDAD PARA TRANSPORTE DE VIDEO	70
5. CAPÍTULO 5.....	91
FACTIBILIDAD TÉCNICA-ECONÓMICA PARA IMPLEMENTAR UNA RED DE TRANSPORTE DE VIDEO EN TIEMPO REAL CON QOS.....	91
6. CAPÍTULO 6.....	98
SIMULACIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE.....	98
7. CAPÍTULO 7.....	121
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	121

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Empresas de transporte de datos tradicionales (Rodrigues, A., 2013)	4
Figura 2. Arquitectura de una red NGN (Cisco Systems Learning, 2012)	6
Figura 3. Infraestructura IP NGN (Cisco Systems Learning, 2012)	6
Figura 4. Capas de red en los proveedores de transporte. Varias tecnologías (Zhang, 2015).	7
Figura 5. Terminología de MPLS (Cisco Systems Learning, 2012).....	10
Figura 6. Plano de Control en MPLS. (Cisco Systems Learning, 2012).	11
Figura 7. Plano de Datos en MPLS. (Cisco Systems Learning, 2012).	12
Figura 8. Estructuras de reenvío de datos (Cisco Systems Learning, 2012).....	13
Figura 9. Etiqueta MPLS. (Cisco Systems Learning, 2012).	14
Figura 10. Ejemplo del STACK de etiquetas en MPLS. (Cisco Systems Learning, 2012)	15
Figura 11. VPN's Capa 3. (Cisco Systems Learning, 2012).....	17
Figura 12. Tralape de VPN's de capa 3. (Cisco Systems Learning, 2012).....	18
Figura 13. Ejemplo de servicios centrales VPN (Cisco Systems Learning, 2012).	18
Figura 14. Vpn's de capa 2. (Cisco Systems Learning, 2012).	19
Figura 15. Ethernet Punto a Punto sobre MPLS. (Cisco Systems Learning, 2012).	19
Figura 16. Servicios VPLS. (Cisco Systems Learning, 2012)	20
Figura 17. Distintas aplicaciones MPLS. (Cisco Systems Learning, 2012).	22
Figura 18. Redes de Contribución, Distribución y Entrega de video. (Simpson, 2013)..	24
Figura 19. El modelo YUV fue inventado para separar el color y la luminancia y para permitir la compatibilidad entre los aparatos de video en color y blanco/negro. (Hens & Caballero, 2008).....	27
Figura 20. Las señales de video YUV son digitalizadas acorde a algunos esquemas para reducir el ancho de banda. (Hens & Caballero, 2008)	29

Figura 21. Nivel de compresión en relación entre la calidad del video y el ancho de banda disponible. (Hens & Caballero, 2008).....	34
Figura 22. Los cuatro pasos de la compresión MPEG-2 (Hens & Caballero, 2008)	35
Figura 23. Modelo Simplificado del codificador (encoder) MPEG-2. (Hens & Caballero, 2008)	35
Figura 24. Jitter de los paquetes entre arribos filtrado por el buffer del decodificador. (Hens & Caballero, 2008)	36
Figura 25. Tipos de tramas en MPEG. Un GOP es limitado por tramas I 12/15 de largo. (Hens & Caballero, 2008)	37
Figura 26. Dos tipos de flujos pueden ser generados con el mismo origen de la señal: un flujo de programa (PS, programme stream) y un flujo de transporte (TS, transport stream), son dos formatos con la misma estructura. (Hens & Caballero, 2008).....	40
Figura 27. Cada flujo elemental es enviado al procesador que crea flujos estándares llamados flujos elementales paquetizados (PES, packetized elementary streams), realizados de entradas originales de audio, video y datos. El PES es finalmente segmentado en paquetes de tamaño fijo (TSP, transport stream packets) y puestos juntos para crear el flujo de transporte (TS, transport stream). (Hens & Caballero, 2008).	40
Figura 28. Diagrama de un Packetized elementary stream (PES). (Hens & Caballero, 2008)	41
Figura 29. Cabecera de un paquete Transport stream (TS). (Hens & Caballero, 2008) ..	41
Figura 30. Per Hop Behavior. (Cisco Systems Learning, 2012)	50
Figura 31. Proveedores de servicios de Video. Identificación de las industrias de Broadcasting. (Rodrigues, A., 2013).....	51
Figura 32. UHD TV. Una realidad en el mercado de los difusores. Velocidades de estos flujos de video. (Rodrigues, A., 2013)	52
Figura 33. Mediciones de tráfico de un canal de datos. (Eckert, 2016)	57
Figura 34. Gráfico en el que se analiza el delay de encolamiento versus la utilización de un enlace. (Eckert, 2016)	58

Figura 35. SLA de video para las redes de Contribución en las empresas portadoras. (Rodrigues, A., 2013).....	59
Figura 36. Video Artifacts. Slice Error presente en la imagen a y b. En la imagen c se observa la pixelación. Los dos artifacts ocurren cuando una trama I o P se pierde. (Rodrigues, A., 2013).....	60
Figura 37. Ghosting. En esta imagen, la pérdida de una trama I, cerca de un cambio de escena, continúa mostrando la escena previa al cambio. Conforme el decoder sigue recibiendo tramas B y P del nuevo GOP, este añade nueva información a la vieja escena, causando el efecto “fantasma”. (Rodrigues, A., 2013)	60
Figura 38. Imagen con pérdida de paquetes. (Rodrigues, A., 2013).....	61
Figura 39. Compresiones espaciales, temporales y matemáticas de un video en MPEG. (Rodrigues, A., 2013).....	61
Figura 40. Cuadro que evalúa el % de pérdida de tramas I versus el tiempo de indisponibilidad de la red. (Rodrigues, A., 2013)	62
Figura 41. Bytes por tipo de trama. a) examina los dos videos, para determinar el promedio del tamaño en bytes para cada tipo de trama. En b) (Susie) y en c) (Football) se determina el número total de bytes por cada tipo de trama. (Greengrass J., Not all packets are equal, part i: Streaming video coding and SLA requirements, 2009).....	63
Figura 42. Salida de un analizador de protocolos que permite analizar un flujo MPEG al nivel de las tramas IPB. (Rodrigues, A., 2013).....	64
Figura 43. Duración de pérdida de paquetes versus el tiempo de duración de un problema o artifact en el video. (Greengrass J., Not All Packets Are Equal, Part 2: The Impact of Network Packet Loss on Video Quality, 2009)	64
Figura 44. Foro Profesional-MPEG COP3 1D FEC (Evans & Filsfils, Video Streaming: Impact of Loss, 2007)	68
Figura 45. Foro Profesional-MPEG COP 3 2D FEC (Evans & Filsfils, Video Streaming: Impact of Loss, 2007).	68
Figura 46. Topología Original del proveedor de servicio basado en IP/MPLS NG. Fuente el Autor.....	74

Figura 47. Encuestas realizadas en Google Docs. Fuente el Autor.	79
Figura 48. Solución de equipos y conexiones clientes finales. Fuente el Autor.....	83
Figura 49. Aplicación de QoS en una red de Transporte. Fuente el Autor	87
Figura 50. Configuraciones de QoS aplicadas en Núcleo. Fuente el Autor.....	87
Figura 51. Configuraciones de QoS aplicadas en Borde. Fuente el Autor.	88
Figura 52. Configuraciones de QoS aplicadas en acceso CPE. Fuente el Autor	88
Figura 53. Diseño final. Fuente el Autor	90
Figura 54. Fondos Descontados acumulados Fuente el Autor.....	96
Figura 55. Características de la PC sobre la cual se elaboró la simulación. Fuente el Autor.	98
Figura 56. Topología de la simulación de una red de contribución. Fuente el Autor.....	99
Figura 57. Túneles de Ingeniería de Tráfico. Fuente el Autor.....	101
Figura 58. Verificación de ruteo en CPE_Cliente1_2_UIO. Prueba de icmp hacia GYE. Fuente el Autor.....	101
Figura 59. Traza desde el CPE UIO al CPE GYE. Fuente el Autor.	102
Figura 60. Túnel TE desde Quito a Guayaquil. Fuente el Autor.	102
Figura 61. Verificación de ruteo en CPE_Cliente1_2_GYE. Prueba de icmp hacia Quito. Fuente el Autor.....	102
Figura 62. Traza desde el CPE GYE al CPE UIO. Fuente el Autor.	103
Figura 63. Túnel TE desde Guayaquil a Quito . Fuente el Autor	103
Figura 64. Configuración de IP SLA en ruteadores CPE de Quito y Guayaquil. Fuente el Autor.	104
Figura 65. Estadísticas del funcionamiento del probe IP SLA entre Quito y Guayaquil. Fuente el Autor.....	104
Figura 66. Funcionamiento del equipo CPE en Guayaquil que responde a las pruebas enviadas desde CPE QUITO. Fuente el Autor.....	105
Figura 67. Tráfico en las interfaces de los ruteadores EDGE_UIO y CPE_UIO. Fuente el Autor.....	105

Figura 68. Tráfico en las interfaces de los ruteadores EDGE_GYE y CPE_GYE. Fuente el Autor.....	106
Figura 69. Configuración de QoS en CPE de Quito y Guayaquil. Fuente el Autor.....	106
Figura 70. Estadísticas de QoS sobre los interfaces de WAN en los CPE's de Quito y Guayaquil. Fuente el Autor.	107
Figura 71. Estadísticas de QoS del ruteador de EDGE_UIO en Quito. Interfaz ve a los ruteadores de núcleo. Fuente el Autor.....	107
Figura 72. Estadísticas de QoS del ruteador de EDGE_UIO en Quito. Interfaz que recibe al CPE. Fuente el Autor	108
Figura 73. Estadísticas de QoS del ruteador de EDGE_GYE en Guayaquil. Interfaz que recibe al CPE. Fuente el Autor.....	108
Figura 74. Estadísticas de QoS del ruteador de EDGE_GYE en Guayaquil. Interfaz ve a los ruteadores de núcleo. Fuente el Autor.....	109
Figura 75. Tráfico generado por IP SLA desde Quito, visto desde el Core_UIO_1. Fuente el Autor.....	109
Figura 76. Estadísticas de QoS del ruteador de Core_UIO_1 en Quito. Interfaz de tránsito del núcleo. Fuente el Autor	110
Figura 77. Estadísticas de QoS del ruteador de Core_UIO_1 en Quito. Interfaz de tránsito del núcleo. Fuente el Autor	110
Figura 78. Tráfico generado por IP SLA desde Quito, visto desde el Core_UIO_2. Fuente el Autor.....	111
Figura 79. Estadísticas de QoS del ruteador de Core_UIO_2 en Quito. Interfaz de tránsito del núcleo. Fuente el Autor	111
Figura 80. Estadísticas de QoS del ruteador de Core_UIO_2 en Quito. Interfaz de tránsito del núcleo. Fuente el Autor	112
Figura 81. Estadísticas de QoS del ruteador de Core_UIO_2 en Quito. Interfaz de tránsito del núcleo. Fuente el Autor	112
Figura 82. Tráfico generado por IP SLA desde Quito, visto desde el Core_GYE_2. Fuente el Autor.....	113

Figura 83. Estadísticas de QoS del ruteador de Core_GYE_2 en Guayaquil. Interfaz de tránsito del núcleo. Fuente el Autor	113
Figura 84. Estadísticas de QoS del ruteador de Core_GYE_2 en Guayaquil. Interfaz de tránsito del núcleo. Fuente el Autor.	114
Figura 85. Tráfico generado por IP SLA desde Quito, visto desde el Core_GYE_1. Fuente el Autor.....	114
Figura 86. Estadísticas de QoS del ruteador de Core_GYE_1 en Guayaquil. Interfaz de tránsito del núcleo. Fuente el Autor.	115
Figura 87. Estadísticas de QoS del ruteador de Core_GYE_1 en Guayaquil. Interfaz de tránsito del núcleo. Fuente el Autor.	115
Figura 88. Estadísticas de QoS del ruteador de Core_GYE_1 en Guayaquil. Interfaz de tránsito del núcleo. Fuente el Autor.	116
Figura 89. Configuración de la opción de rápida recuperación y convergencia Fast Reroute a nivel de enlace en el Edge_UIO de Quito. Fuente el Autor.	117
Figura 90. Configuración de la opción de rápida recuperación y convergencia Fast Reroute a nivel de enlace en el Core_UIO_2 de Quito. Fuente el Autor.	118
Figura 91. Baja de la interfaz Ethernet 0/0 en el Core_GYE_2 de Guayaquil para simular una falla. Fuente el Autor.....	118
Figura 92. Tráfico empieza a cursarse por el Tunel 1 de backup configurado en el Core_UIO_2. Fuente el Autor.....	119
Figura 93. Señalización del túnel 10 de Ingeniería de tráfico al presentarse una falla y activarse FRR. Fuente el Autor.	119
Figura 94. Traza desde CPE Quito a CPE Guayaquil. Se verifica en ítem 4 que se añade una etiqueta al stack por utilizar el tunel de backup. Fuente el Autor.	120

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores que resaltan de una red NGN frente a las redes tradicionales	8
Tabla 2. Campos en cabecera MPLS.	14
Tabla 3 Estadísticas del Mundial de Fútbol 2016.	23
Tabla 4. Datos estadísticos de los Juegos Olímpicos 2016.....	23
Tabla 5. Digitalización del video análogo a una versión digital de 720 x 576 pixeles, usando los modelos 4:4:4, 4:2:2 y 4:2:0.	28
Tabla 6. Valores de niveles, restricciones y aplicaciones.	32
Tabla 7. MPEG-2, combinación de niveles y perfiles.	32
Tabla 8. Definiciones provisionales de Clases de QoS para redes IP y objetivos de desempeño en red.....	43
Tabla 9. Comparativo de los requerimientos de la red de transporte para contribución en varias tecnologías	55
Tabla 10. Valores definidos para el diseño de la red de Contribución	59
Tabla 11. Técnicas para reducir las pérdidas en la red de núcleo.	66
Tabla 12. Tabla ilustrativa de los tipos de proveedores de servicio en Ecuador	73
Tabla 13. Datos referenciales para el diseño de la capacidad de enlaces nacionales e internacionales. (Salazar, 2014)	74
Tabla 14. Compresiones y tipos de contenido versus los anchos de banda a ser utilizados.	76

Tabla 15. Listado de clientes evaluados.....	78
Tabla 16. Tabulación de los resultados de la encuesta.....	79
Tabla 17. Tráficos de Internet, VPN L3 y anchos de banda previstos para video.	80
Tabla 18.Comparación de equipos con sus configuraciones básicas y factores de descuento.....	81
Tabla 19. Comparación de Switches carrier class.....	81
Tabla 20. Costos referenciales de tres proveedores locales nacionales.	82
Tabla 21. Costos referenciales de tres proveedores nacionales Quito-Guayaquil	82
Tabla 22. Listado de equipos terminales y sus precios para la solución de video de alta disponibilidad.....	83
Tabla 23. Costos de proveedores de última milla locales.	84
Tabla 24. Listado de equipos y costos de los equipos de borde.....	85
Tabla 25.Opex con los costos de los enlaces Locales e Interurbanos de troncal.	85
Tabla 26. Plan de marketing para conseguir 15% del mercado de Difusión	86
Tabla 27.Precios a Cobrarse en el servicio de transporte de Video.	86
Tabla 28.Valor del WACC calculado considerando diferentes condiciones de inversión	92
Tabla 29. Valores de OPEX del proyecto; se muestra solo los meses en los que hay costos por instalaciones o puestas en marcha de clientes.	94
Tabla 30. Valores de CAPEX del proyecto; se muestra solo los meses en los que hay costos por puestas en marcha de clientes.	94
Tabla 31. Precios de los servicios de transporte	95
Tabla 32.Utilización de red de transporte. Comparación entre tráfico de video y tráfico del portador	95
Tabla 33.Evaluación y resultados del proyecto de red de transporte en Contribución.	96
Tabla 34. Valores de Retardo, Variación de Retardo y pérdidas, obtenidos del IP SLA de CISCO en condiciones normales.	116
Tabla 35. Valores de Retardo, Variación de Retardo y pérdidas, obtenidos del IP SLA de CISCO en condiciones de falla.	120

INTRODUCCIÓN

Este trabajo presenta el diseño y simulación de una de red transporte de aplicaciones multimedia, entre las fuentes de generación de contenido y las empresas de post producción. La red de datos que interconecta estos dos sitios es conocida como red de CONTRIBUCIÓN.

Estas redes de comunicaciones deben transportar un contenido inédito, que no tiene copias, que ha sido obtenido en las calles, en estudios de producción o en eventos deportivos, con alta disponibilidad, fiabilidad y bajo retardo. Las redes contribución tienen la característica de ser muy estables, y cuyo crecimiento es muy lento y controlado a diferencia de, por ejemplo, las redes secundarias de distribución de IPTV, que son muy dinámicas.

1. CAPITULO 1:

MARCO REFERENCIAL

1.1. TEMA

Diseño y simulación de una red de Transporte de video en tiempo real en IPV4 mediante protocolo unicast, dirigido a empresas de post-producción/edición de contenido multimedia con calidad de servicio.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos 10 años, las redes de transporte se han fortalecido y ganado terreno para la transmisión de video y audio (Cisco Systems, 2007) (Cisco Systems, 2008). Estas redes permiten modelar de mejor maneja el tratamiento del retardo y su variación, la calidad del servicio, la resiliencia a fallas y la perdida de paquetes (Cisco Systems, 2011), tanto como lo hacían las redes ATM/Frame Relay/SDH hace casi dos décadas atrás.

Esta mejora en el manejo del performance de red y el tratamiento adecuado de estos requerimientos, permiten a las empresas portadoras, brindar servicios de transporte de video con alta calidad, a las empresas que generan contenido audio visual (por ejemplo NBC, FOX, BBC).

IP ha llegado a ser la tecnología preferida de convergencia, capaz de cubrir los requerimientos de los servicios de video en tiempo real y a la vez los basados en el transporte de datos, no solo en las redes de distribución secundarias como lo es IPTV, sino que incrementando su presencia en las redes de distribución primarias y de contribución (Cisco Systems, 2011).

El Visual Networking Index, (también conocido VNI) es una iniciativa de la empresa Cisco Systems que lleva una estadística del crecimiento del tráfico IP y el efecto de las aplicaciones multimedia en red de Internet. De acuerdo a (Cisco Systems, 2015):

- En 2019, habrá casi 3.9 millones de usuarios de Internet a nivel mundial (más del 51 por ciento de la población mundial), frente a los 2,8 mil millones en 2014.

- En 2019, habrá 24 mil millones de dispositivos conectados en red y conexiones a nivel mundial, por encima de 14 mil millones en 2014.
- A nivel mundial, la velocidad de conexión de banda ancha fija promedio aumentará 2,2 veces, de 20,3 Mbps en 2014 a 42,5 Mbps en 2019
- A nivel mundial, el vídeo IP representará el 80 por ciento de todo el tráfico en 2019, por encima del 67 por ciento en 2014.

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Partiendo del hecho de la presencia casi omnipresente de las redes transporte IP/MPLS/SDH (TRAI, 2014) y de las expectativas de crecimiento para los siguientes años del tráfico de VIDEO detallado en (Cisco Systems, 2015), y además, apoyado en los trabajos previos de investigación realizados en el Ecuador y en el mundo sobre las redes de video (Arévalo, 2010) (Vivanco, 2015), el objetivo de este trabajo de titulación es proponer un diseño de red que sea capaz de:

- Manejar de una manera adecuada los principales índices de calidad para lograr el transporte de video en tiempo real.
- Permitir la escalabilidad de la red a la vez de garantizar la estabilidad de la misma.

1.4. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Diseñar y simular una red de transporte de video en tiempo real en IPV4 mediante protocolo unicast con calidad de servicio.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar las características del tráfico de video sobre las redes de transporte actuales.
- Diseñar una red de CONTRIBUCIÓN con el fin de cumplir con los índices de calidad requeridos para el transporte de video.

- Analizar la factibilidad técnico-económica para la implementación de una red transporte de video en tiempo real.
- Simular la red de transporte

2. CAPÍTULO 2:

MARCO TEÓRICO

2.1. TECNOLOGÍAS DE TRANSPORTE TRADICIONALES E IP

Este capítulo discute y analiza las distintas tecnologías que las empresas portadoras de datos utilizan para el transporte de aplicaciones multimedia.

Partimos del siguiente gráfico para identificar los distintos tipos de sistemas que han operado brindando servicio desde inicios de los años 90 cuando fue el despliegue de las primeras redes de transmisión de paquetes concesionadas en el país: (Gomezjurado & Nuñez, 2014) :

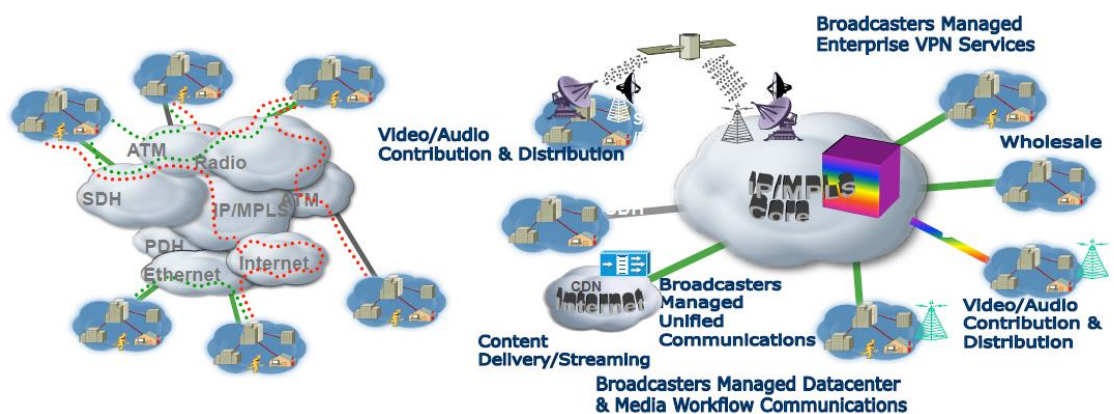


Figura 1. Empresas de transporte de datos tradicionales (Rodriguez, A., 2013)

En la parte izquierda de la figura 1, se pueden identificar varias tecnologías interactuando sobre una red tradicional, en donde por ejemplo se tiene conmutadores ATM¹ y equipos

PDH². Estos generaban circuitos virtuales para la provisión de enlaces de datos punto a punto del tipo transparente o emulaciones de circuitos TDM para interconexión a la

¹ ATM: Asynchronous Transfer Mode

² PDH: Plesiochronous Digital Hierarchy

PSTN³. También se observa equipos SONET/SDH⁴ usados para el transporte de las tramas/celdas ATM, Frame Relay o los circuitos TDM⁵ mediante una red óptica. En este tipo de arquitectura se habla de múltiples redes y múltiples servicios (Rodrigues, A., 2013).

En cambio en el lado derecho se puede observar una sola red multiservicios, utilizando la tecnología IP, en donde tenemos al paradigma de tener una sola red y múltiples servicios (Rodrigues, A., 2013).

Dada esta característica se debe abordar el tema de las redes NGN⁶

2.2. REDES NGN (REDES DE SIGUIENTE GENERACIÓN)

Hace unos 20 años las empresas portadoras de telecomunicaciones se especializaban en diferentes tipos de servicio, como telefonía, transporte de datos, televisión, radio y servicios de acceso a Internet. Los modernos prestadores de servicio que han evolucionado desde estas empresas (ya sea desde los portadores o desde los prestadores de valor agregado) pueden y deben distribuir los mismos requerimientos de sus clientes utilizando una sola infraestructura de red. Por esto, el concepto de una red de NUEVA GENERACIÓN, habla de redes de servicios y ya no de redes de datos. La idea general detrás de NGN es el proveer transporte nativo en IP para todos los servicios y aplicaciones, sin importar el tipo de acceso. En la figura 2, se observan tres niveles dentro de la arquitectura: infraestructura IP, servicios y aplicaciones; esta separación entre funciones hace que las redes NGN permitan la adición de nuevos servicios y aplicaciones sin importar los cambios en la red de transporte.

³ PSTN: Public Switched Telephone Network

⁴ SONET/SDH: Synchronous Optical Networking/ Synchronous Digital Hierarchy

⁵ TDM: Time Division Multiplexing

⁶ NGN: Next Generation Networks

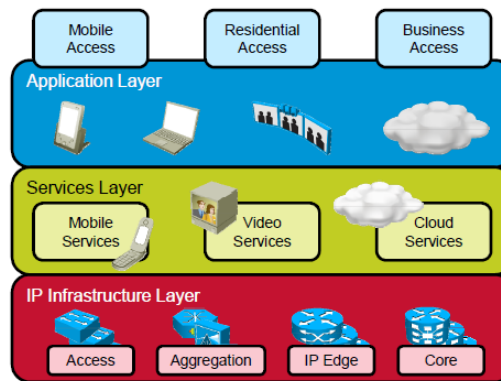


Figura 2. Arquitectura de una red NGN (Cisco Systems Learning, 2012)

Este trabajo de titulación se centra en la capa de infraestructura que es la responsable de proveer confiabilidad a las capas superiores, y esta incluye las siguientes redes:

Red de Core o núcleo

Red de Borde o Edge

Red de Agregación

Red de Acceso

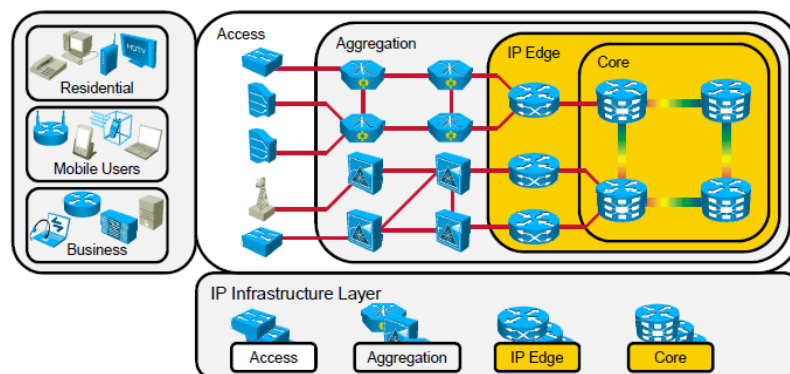


Figura 3. Infraestructura IP NGN (Cisco Systems Learning, 2012)

NOTA: Como aclaración, durante el desarrollo de esta tesis, se trabajará con un modelo colapsado en donde no existe la capa o red de Agregación (esta capa por costos y por optimización en el diseño no se la tomará en cuenta). Además no se revisará la red y tecnologías de Acceso. Solo se revisa y diseña lo coloreado en amarillo, ver Figura 3.

La capa de Infraestructura provee los medios para garantizar una red escalable, de alta velocidad y confiable. Los usuarios finales se conectan al proveedor de servicios a través de los equipos de cliente final o CPE⁷, usando cualquier tecnología de última milla o acceso posible. Las redes de acceso y agregación lo conforman dispositivos de red que son los responsables de facilitar y asegurar la conectividad entre el CPE y el equipo de borde de la red del proveedor de servicios. La red de núcleo o core es usada para la conmutación rápida de paquetes entre los equipos de borde.

El interés fundamental en este trabajo está en las redes de Núcleo y de Borde. Las tecnologías que se aplican en las redes de Núcleo son las siguientes, ver Figura 4:

- SONET/SDH
- DWDM⁸ y ROADM⁹
- IP sobre DWDM
- 10/40/100 Gigabit Ethernet

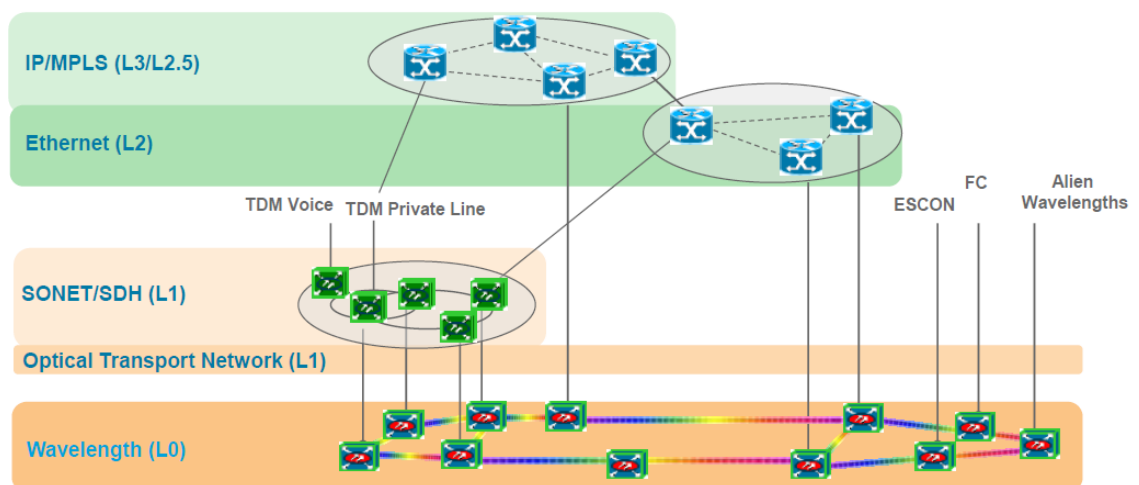


Figura 4. Capas de red en los proveedores de transporte. Varias tecnologías (Zhang, 2015).

⁷ CPE: Customer Premise Equipment, Equipo de lado del cliente

⁸ DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing, multiplexado compacto por división en longitudes de onda

⁹ ROADM: Reconfigurable optical add-drop multiplexer.

2.3. TRANSFORMACIÓN A IP, LA NUEVA ARQUITECTURA NGN.

La arquitectura de red de los portadores de servicios tradicionales es basada en numerosos servicios paralelos con una simple red central de transporte SDH, donde cada servicio es independiente.

Los modernos proveedores de servicio usualmente se transforman a la arquitectura de red basada en el protocolo IP, donde todo corre el sobre el protocolo IP. En este escenario, Ethernet reemplaza a ATM o SDH; IP, en combinación con MPLS es usado en la red de núcleo.

Como factores importantes que impulsan el cambio se puede anotar dos visiones:

- El patrón de tráfico de cada uno de los servicios/cliente (tabla 1)
- Los cambios tecnológicos

Tabla 1. Factores que resaltan de una red NGN frente a las redes tradicionales

TRÁFICO	CAMBIOS TECNOLÓGICOS
Tráfico tradicional tiene un crecimiento lento por no decir estancado/estático	Conmutación de paquetes es más económica que la conmutación de circuitos
Tráfico basado en el protocolo IP es "explosivo"	MPLS provee capacidades razonables de circuitos virtuales
Los dispositivos móviles (celulares) a tornado en IP su plataforma de datos	Los tiempos de recuperación de MPLS son comparables con SDH
El tráfico de video es muy representativo en la red de Internet basado en IP	Ethernet es barato en comparación con ATM y SDH
Tráfico de voz sobre IP tiene la misma calidad de la voz sobre TDM	QoS rígido no es necesario en enlaces de alta velocidad y sin saturación

(Cisco Systems Learning, 2012)

Por tanto utilizando la tabla 1, se puede decantar que las redes NGN utilizando la arquitectura IP/MPLS ofrecen características superiores o por lómenos comparables con las redes tradicionales y además permiten optimizar costos de mantenimiento.

2.4. INTRODUCCIÓN A MPLS

MPLS provee una encapsulación intermedia entre las cabeceras de las capas 2 y 3 del modelo Open System Interconnection (OSI). Esta función habilita el reenvío de paquetes a través de caminos señalizados por medio labed-switched paths (LSP, caminos de conmutación de etiquetas) que pueden ser creados usando varios métodos y protocolos, dependiendo de los resultados requeridos. Adicionalmente, el protocolo de capa 3 o 2 puede ser cualquiera. MPLS habilita a los prestadores de servicios a proveer servicios con iguales o mejores características que las empresas de transporte tradicionales.

2.5. CARACTERÍSTICAS DE MPLS

MPLS es una tecnología que fundamentalmente es utilizada en las redes de núcleo dentro de los proveedores de servicios. MPLS mejora el ruteo clásico de IP mediante la introducción de una cabecera adicional dentro del paquete. Esta cabecera adicional es llamada etiqueta MPLS. MPLS conmuta paquetes basado en el análisis de etiquetas en vez del análisis del direccionamiento IP. Las etiquetas usualmente corresponden a las direcciones IP de las redes de destino; cada destino tiene su correspondiente etiqueta en cada uno de los ruteadores habilitados para MPLS.

En las redes de los proveedores de servicio, el resultado de usar MPLS es que tan solo los ruteadores en los bordes (EDGE) del dominio MPLS realizan el análisis del ruteo; todos los otros ruteadores reenvían los paquetes fundamentados en las etiquetas.

MPLS es una tecnología de reenvío de paquetes que añade etiquetas para la toma de decisiones de hacia dónde reenviarlos (reenvío o forwarding basado en source, fuente).

Dentro de una red MPLS, el análisis de la cabecera de capa 3 es hecho una sola vez (cuando el paquete entra al dominio MPLS). Las etiquetas son añadidas al paquete, y entonces el paquete es reenviado hacia el dominio MPLS.

2.6. BENEFICIOS DE MPLS

Los beneficios que atañen a MPLS se los puede resumir como:

- MPLS decrementa el exceso de trabajo ocasionado por el reenvío de datos en los enrutadores de núcleo.
- MPLS soporta múltiples aplicaciones: ruteo IP de unicast y multicast, VPN's, ingeniería de tráfico, calidad de servicio, y cualquier transporte sobre MPLS (AToM, Any Transport over MPLS).
- MPLS soporta el reenvío de otro tipo de protocolos distintos a IP, debido a que MPLS es aplicable a cualquier protocolo de la capa de red.
- MPLS es altamente eficiente en los proveedores de servicio o en las redes empresariales, debido a que este incrementa la capacidad de ruteo de BGP y provee diferentes servicios y aplicaciones, como VPN de capa 2 y 3 al igual que calidad de servicio e Ingeniería de tráfico.

2.7. TERMINOLOGÍA MPLS

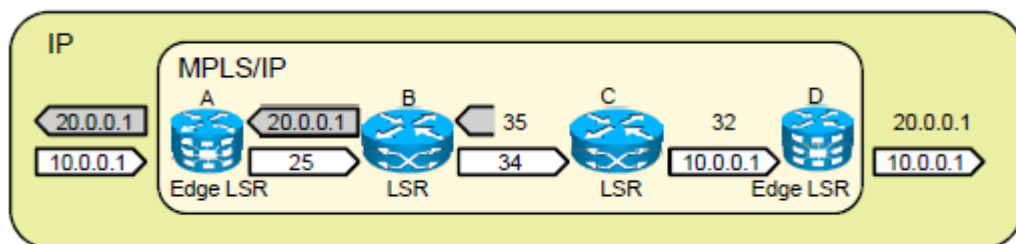


Figura 5. Terminología de MPLS (Cisco Systems Learning, 2012)

En un dominio MPLS, hay dos tipos de enrutadores de conmutación de etiquetas:

- LSR, ruteadores de conmutación de etiquetas¹⁰: un dispositivo que reenvía paquetes utilizando como base las etiquetas.
- LRS de Borde (edge LSR): un dispositivo que principalmente etiqueta paquetes o reenvía paquetes IP fuera del dominio MPLS.

Los LSR y edge LSR tienen la capacidad de conmutar etiquetas o realizar ruteo IP. Sus nombres son basados en sus posiciones dentro de un dominio MPLS. Los

¹⁰ LRS: Label Switch Routers

enrutadores que tienen todas sus interfaces habilitadas en el dominio MPLS son llamados LSR's, porque fundamentalmente reenvían paquetes etiquetados. Los enrutadores que tienen algunas interfaces sin configurar MPLS se encuentran usualmente en los bodes del dominio MPLS. Un Ingress Edge LSR reenvía los paquetes que son basados en las direcciones de destino IP y los etiqueta si la interfaz de salida está dentro del dominio MPLS. Los Egress LSR reenvían paquetes IP que están basados en ruteo IP fuera del dominio MPLS.

Una secuencia de etiquetas que son usadas para alcanzar un destino es llamado un camino de conmutación de etiquetas (LSP¹¹) y es unidireccional.

2.8. ARQUITECTURA DE MPLS: EL PLANO DE CONTROL.

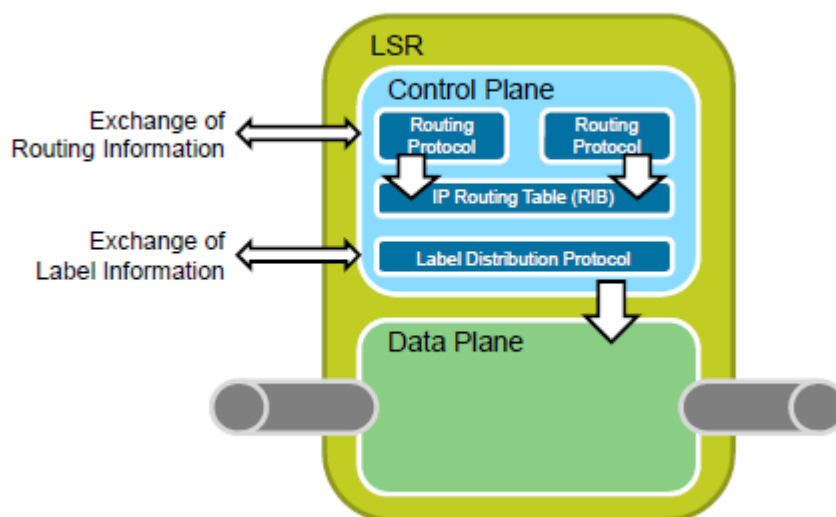


Figura 6. Plano de Control en MPLS. (Cisco Systems Learning, 2012).

El plano de control construye las tablas de ruteo (RIB¹²) utilizando la información de los protocolos de ruteo. Varios son los protocolos de ruteo, como por ejemplo OSPF¹³, ISIS¹⁴, BGP¹⁵ que pueden ser utilizados en el plano de control para manejar el ruteo de capa 3.

¹¹ LSP: Label-switched path

¹² RIB: Routing information base

¹³ OSPF: Open shortest Path First

¹⁴ ISIS: Intermediate System to Intermediate System

¹⁵ BGP: Border Gateway Protocol

El plano de control utiliza el protocolo de intercambio de etiquetas para crear y mantener las etiquetas internamente y para el intercambio de estas etiquetas a otros dispositivos dentro del dominio MPLS. El protocolo de intercambio de etiquetas, coloca etiquetas a las redes que son aprendidas por el protocolo de enrutamiento. Los protocolos de intercambio de etiquetas incluyen a LDP¹⁶, BGP y RSVP¹⁷.

El protocolo de control también construye dos tablas de reenvío, la base de información de reenvío (FIB¹⁸) desde la información provista por RIB, y la base de información de reenvío de etiquetas (LFIB¹⁹), que utiliza para su construcción la información del protocolo de intercambio de etiquetas y RIB. La tabla LFIB incluye los valores de las etiquetas y las asociaciones con las interfaces salientes para cada uno de los prefijos de red. (Cisco Systems Learning, 2012)

2.9. ARQUITECTURA DE MPLS: EL PLANO DE DATOS.

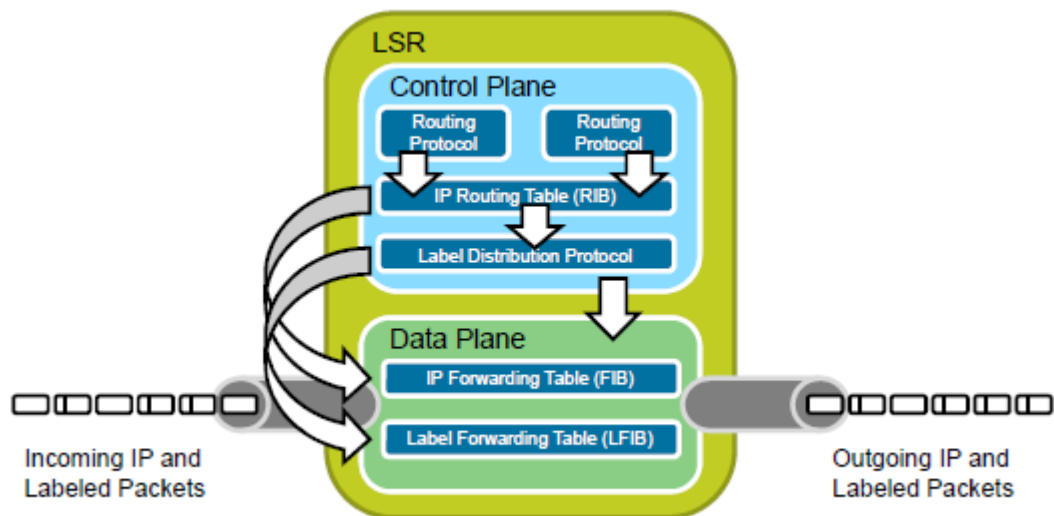


Figura 7. Plano de Datos en MPLS. (Cisco Systems Learning, 2012).

¹⁶ LDP: Label Distribution Protocol

¹⁷ RSVP: Resource Reservation Protocol

¹⁸ FIB: Forwarding Information Base

¹⁹ LFIB: Label Forwarding Information Base

El plano de datos se hace cargo del reenvío de paquetes, utilizando las direcciones de destino o las etiquetas; el plano de datos también es conocido como plano de reenvío (forwarding).

El plano de datos es una máquina simple de reenvío o paso, que es independiente del protocolo de ruteo o del protocolo de intercambio de etiquetas. El plano de datos, reenvía los paquetes a la apropiada interfaz, utilizando la información almacenada en las tablas LFIB o FIB.

2.10. ESTRUCTURAS DE REENVIO DE DATOS

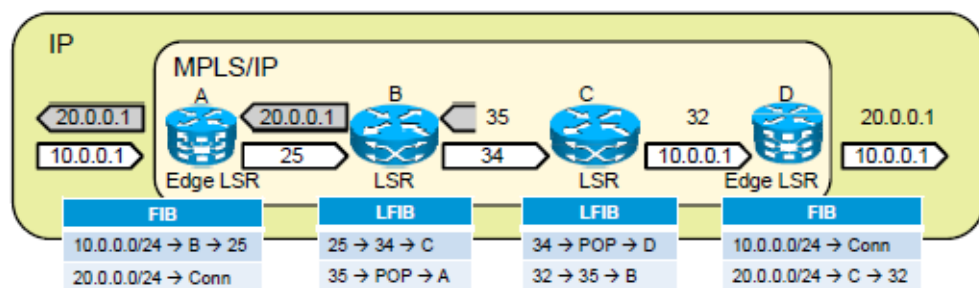


Figura 8. Estructuras de reenvío de datos (Cisco Systems Learning, 2012)

El plano de datos en un ruteador es el responsable del avance de los paquetes dentro de la red, basados en las decisiones tomadas por los protocolos de enrutamiento (que están soportados en el plano de control). El plano de datos en un enrutador habilitado MPLS contiene dos estructuras de reenvío:

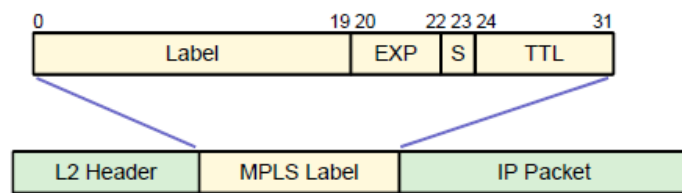
FIB, forwarding information base: es la tabla que se usa para reenviar o cursar paquetes, utilizando los protocolos de ruteo como su fuente de información. La FIB es actualizada desde la tabla de ruteo e incluye las redes de destino, los siguientes saltos, las interfaces de salida y referencias a las direcciones de la capa 2. La FIB en un ruteador con MPLS habilitado también contiene la etiqueta de salida, si una interfaz de salida tiene habilitado para el tráfico de MPLS. El uso de la FIB es realizado cuando un paquete IP llega al ruteador. Basado en el resultado de la interfaz de salida, el ruteador reenvía un paquete IP o impone una etiqueta al paquete que sale.

LFIB, Label forwarding information base: La LFIB es usada cuando un paquete etiquetado es recibido. La LFIB contiene las definiciones de las etiquetas entrantes y salientes, las interfaces de salida y el ruteador del siguiente salto. Cuando una

búsqueda de la LFIB es realizada, los resultados pueden ser el intercambio de etiquetas y la remoción de etiqueta del paquete reenviándolo solo como un paquete IP a través de una de las interfaces de salida (Cisco Systems Learning, 2012).

2.11. ETIQUETAS MPLS

MPLS Label



- MPLS uses a 32-bit label header that is inserted between Layer 2 and Layer 3:
 - 20-bit label
 - 3-bit experimental field
 - 1-bit bottom-of-stack indicator
 - 8-bit Time-to-Live field
- MPLS can be used regardless of the Layer 2 protocol.

Figura 9. Etiqueta MPLS. (Cisco Systems Learning, 2012).

La figura 9, presenta la etiqueta MPLS que es usada en la conmutación de MPLS. La etiqueta es insertada entre las cabeceras de capa 2 y capa 3 y puede ser utilizada con cualquier tipo de protocolo de capa 2.

La etiqueta de 32 bits de longitud consiste en los siguientes campos, detallados en la tabla 2:

Tabla 2. Campos en cabecera MPLS.

CAMPO	DESCRIPCIÓN
etiqueta 20 bits	Etiqueta usada para la conmutación, valores de 0 a 15 son reservados
3 bits campo experimental	Actualmente se denomina TC: Traffic Class, utilizados para QoS
bit Bottom-of-stack	MPLS permite que multiples etiquetas sean insertadas. Este bit determina la presencia de la última etiqueta en el paquete. Si este bit es 1, este indica que es la etiqueta final.
8 bit Time to Live (TTL)	Tiene el mismo proposito que el campo TTL en una cabecera IP.

(Cisco Systems Learning, 2012)

2.12. STACK O APILAMIENTO DE ETIQUETAS MPLS

MPLS usa solo una etiqueta en cada paquete cuando se habilita en un dominio de ruteo. Sin embargo, MPLS permite que múltiples etiquetas sean añadidas o insertadas dentro del paquete.

Las siguientes aplicaciones pueden añadir etiquetas a los paquetes:

VPN's MPLS: dentro de una VPN MPLS, MBGP es utilizado para propagar una segunda etiqueta que es usada en adición de la anunciada por LDP o RSVP.

Ingeniería de Tráfico MPLS (MPLS-TE): utiliza RSVP para establecer túneles LSP. RSVP también propaga las etiquetas que son utilizadas en adición a las propagadas por LDP.

Una combinación de estos mecanismos y otras características avanzadas podrían resultar en tres o más etiquetas dentro del paquete, como se ve en la Figura 10.

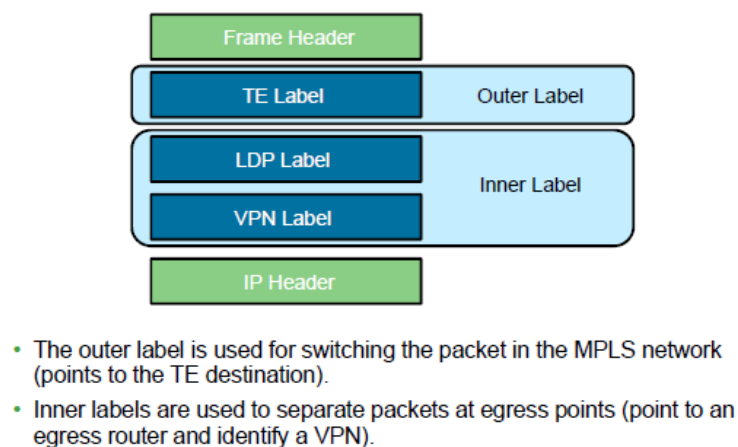


Figura 10. Ejemplo del STACK de etiquetas en MPLS. (Cisco Systems Learning, 2012)

2.13. APLICACIONES MPLS.

MPLS es una tecnología que es utilizada para la entrega de servicios IP. MPLS puede manejar las siguientes aplicaciones:

- Ruteo IP unicast es la aplicación más común para MPLS.
- Ruteo IP multicast son tratadas separadamente debido a los diferentes requerimientos de reenvío de paquetes.

- MPLS TE es una adición a MPLS que provee mejor y más inteligente uso de los enlaces entre sedes.
- QoS Diferenciado puede ser provisto dentro de MPLS.
- VPN's MPLS pueden ser implementadas, utilizando etiquetas que permitan el traslape de direccionamiento entre VPN's.
- AToM es la solución para el transporte de las tramas de capa 2 sobre un dominio MPLS.

El soporte de MPLS para el apilamiento de etiquetas, permite la implementación de aplicaciones, como son VPN's y QoS.

2.13.1. Ruteo IP unicast.

MPLS básico soporta ruteo IP unicast. Hay dos significativas mejoras que provee MPLS sobre el ruteo tradicional:

El uso de etiquetas para reenviar paquetes, incrementa la eficiencia de la red central, debido a que la operación de intercambio de etiquetas requiere un menor procesamiento en vez del análisis de las tablas de enrutamiento. MPLS puede proveer servicios orientados a conexión mediante el uso de FEC²⁰.

2.13.2. Ruteo IP multicast.

Ruteo ip multicast, puede ser usado en MPLS. PIM versión 2 con extensiones para MPLS, es utilizado para propagar la información de ruteo y de las etiquetas. El FEC trata de igual manera a como lo hace en unicast a una dirección de destino multicast, que es almacenada en la tabla de ruteo multicast.

2.13.3. VPN's MPLS

MPLS habilita servicios de VPN's de alta escalabilidad. Para cada usuario de la VPN, la red funciona como una red privada, sobre la cual, cada usuario puede alcanzar los otros sitios de su propia de la organización, pero no otros sitios de otras organizaciones. Las VPN's MPLS son las aplicaciones más comunes en los proveedores de servicios

²⁰ FEC: forwarding equivalence class

portadores. Las VPN's MPLS son vistas como intranets privadas, y ellas soportan servicios IP como aquellos listados a continuación:

- Multicast
- Qos
- Soporte a telefonía dentro de la VPN
- Servicios centrales incluidos almacenamiento de contenido web

Los prefijos de red de los usuarios son aprendidos a través de un IGP²¹ (OSPF, RIP, EIGRP, etc), rutas estáticas desde el cliente o vía BGP desde otros ruteadores de la red MPLS.

Las VPN's MPLS usan dos etiquetas:

- La etiqueta superior apunta al ruteador de salida
- La segunda etiqueta identifica la interfaz de salida en el ruteador de salida, o a la tabla de ruteo que hace la búsqueda de rutas en IP (interfaz de salida en la FIB).

LDP es necesario con su etiqueta en el tope de la pila de etiquetas para definir la correspondencia entre el Edge LSR con un único LSP túnel. MP-BGP es utilizado en la segunda etiqueta para propagar la información de ruteo de la VPN y las etiquetas a través del dominio MPLS

2.13.4. VPN's Capa 3

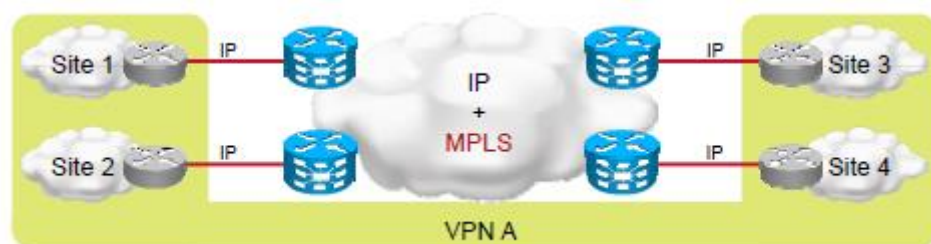


Figura 11. VPN's Capa 3. (Cisco Systems Learning, 2012)

La principal característica de las VPN's de capa 3 es que los clientes se conectan al proveedor de servicio via IP. Ellos necesitan establecer ruteo IP (estático o dinámico)

²¹ IGP: interior Gateway protocol

en orden de intercambiar la información de ruteo entre los sitios de los clientes que pertenecen a la misma VPN. Como diferentes usuarios en distintas vpn's pueden usar el mismo direccionamiento privado, el proveedor de servicios no puede utilizar ruteo clásico IP para conectarlos. MPLS debe ser usado entonces, asegurando el aislamiento entre clientes distintos. Las más básicas VPN son llamadas simplemente VPN's o intranets.

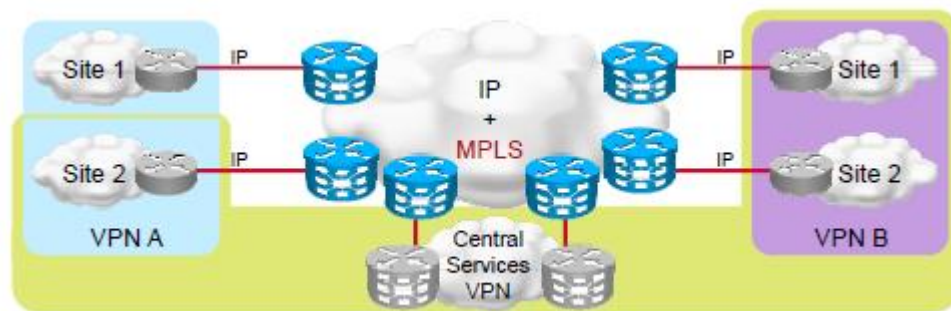


Figura 12. Tralape de VPN's de capa 3. (Cisco Systems Learning, 2012)

La figura 12 ilustra el traslape de vpn's de capa 3 donde los múltiples clientes de la vpn son provistos con acceso a un sitio central de VPN's- Ambos, la VPN A y la VPN B en este ejemplo son capaces de comunicarse con el sitio central de servicios. Las VPN's A y B siguen siendo independientes y aisladas entre sí.

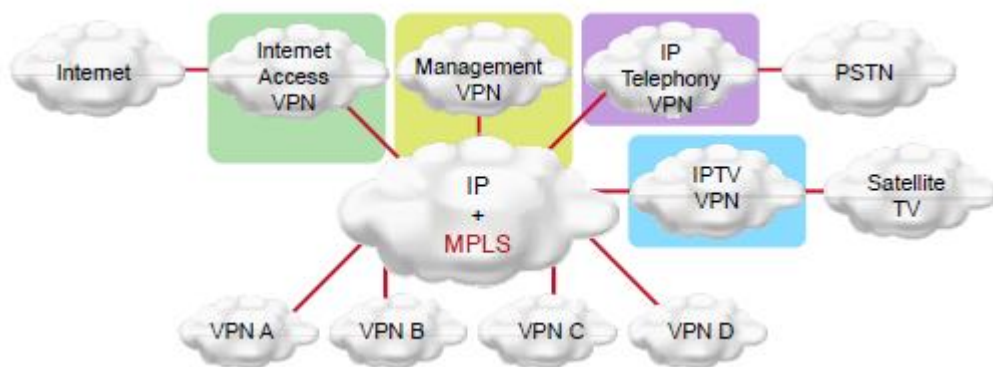


Figura 13. Ejemplo de servicios centrales VPN (Cisco Systems Learning, 2012).

La figura 13 muestra ejemplos de servicios centrales VPN.

2.13.5. VPN's de capa 2.

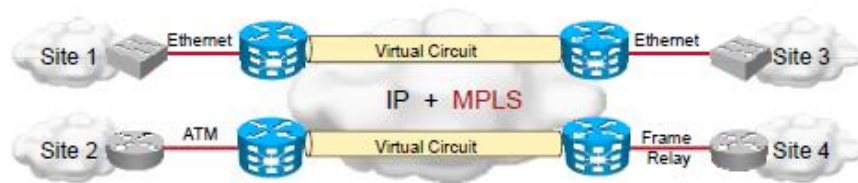


Figura 14. Vpn's de capa 2. (Cisco Systems Learning, 2012).

Las vpn's de capa 2 en MPLS habilitan a los proveedores de servicio a ofrecer conexiones punto a punto o multipunto en capa 2 entre sitios distantes. En la figura 14, se muestra conexiones punto a punto Ethernet entre dos clientes con switches LAN a través de un circuito virtual usando MPLS. En el otro ejemplo de la figura 14 en la parte inferior, se ilustra el internetworking entre un sitio utilizando ATM y su otro extremo usando Frame Relay (Cisco Systems Learning, 2012). La red MPLS traduce entre las dos tecnologías similarmente a como lo hacen los switches ATM legacy.

La principal ventaja de las vpn's de capa 2 en mpls es que ellas no requieren ningún tipo de señalización IP entre el cliente y el proveedor de servicios (es transparente el ruteo entre sitios).

Ethernet over MPLS (Ethernet sobre MPLS) puedes ser implementado de dos maneras:

Ethernet Punto a Punto sobre MPLS, donde todo el tráfico Ethernet es intercambiado sobre un solo circuito virtual (LSP)

Servicios VPLS²² o virtual private LAN services, donde múltiples sitios pueden ser interconectados sobre una red interconectada de circuitos virtuales.

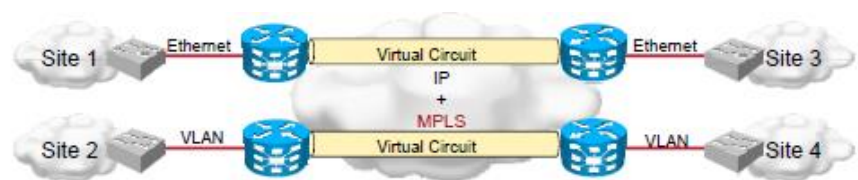


Figura 15. Ethernet Punto a Punto sobre MPLS. (Cisco Systems Learning, 2012)

²² VPLS: virtual private LAN services

La aplicación más común de las vpns de capa 2 son las que proveen conectividad punto a punto entre los sitios del cliente.

Ethernet sobre MPLS (EoMPLS) puede ser implementada en dos maneras (figura 15):

- Modo puerto: tramas enteras son encapsuladas dentro de un LSP de MPLS. Esta opción permite que una interfaz física sea mapeada hacia un sitio remoto distante. Es posible que se utilice sobre este enlace 802.1q vlans extremo a extremo.
- Modo VLAN: Vlans seleccionadas son extraídas y encapsuladas dentro de LSP's dedicados. Esta opción permite que los clientes del sitio central usen un solo enlace físico, con múltiples vlans que son enrutadas a múltiples sitios remotos individuales en diferentes locaciones.

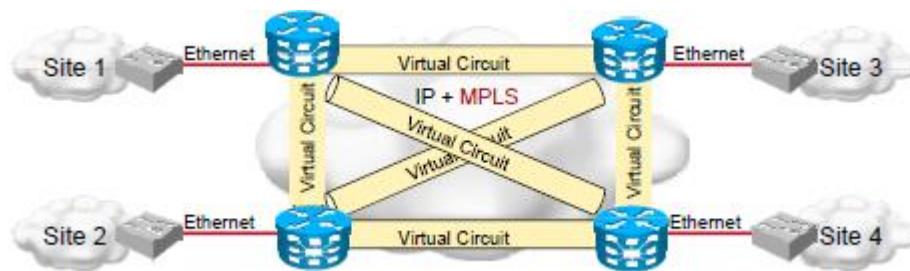


Figura 16. Servicios VPLS. (Cisco Systems Learning, 2012)

VPLS habilita a los proveedores de servicio con redes MPLS a ofrecer servicios multipunto Ethernet o Ethernet privado, como está definido por el Metropolitan Ethernet Forum MEF (Cisco Systems Learning, 2012).

La figura 16 muestra implementaciones VPLS entre los cuatro switches de un mismo cliente en diferentes sitios de su empresa. Un grupo de LSP anidados garantizan el reenvío de las tramas identificadas por sus respectivas MAC's entre los sitios.

2.13.6. Ingeniería de Tráfico en MPLS

Otra aplicación de MPLS es ingeniería de tráfico. MPLS TE habilita a un backbone MPLS a replicar y expandir las capacidades de las redes de capa 2 ATM y Frame Relay. MPLS TE soporta el ruteo en base a condiciones, en el cual el camino para el flujo de tráfico es el camino más corto que cumple los requerimientos dados o (condiciones). Factores como el ancho de banda, requerimientos del tipo de medio y la prioridad de un flujo de tráfico son tomados en cuenta. Las capacidades de TE

habilitan al administrador de la red a cumplir con estas metas de calidad, y estas pueden enumerarse en:

- Control de flujo de tráfico a través de la red
- Reducción de la congestión en la red
- Mejor uso de los recursos de red

Cada LSR debe ver enteramente la topología de la red (solo OSPF e IS-IS pueden mantener la topología total).

Cada LSR necesita información adicional acerca de los enlaces en la red. Esta información incluye recursos disponibles y condicionantes; OSPF e IS-IS tienen extensiones para propagar esta información adicional.

RSVP es usado para establecer los túneles TE y propagar las etiquetas.

Cada LSR de borde debe crear su túnel LSP bajo demanda. RSVP es usado para crear un túnel y propagar las etiquetas de los túneles TE.

2.13.7. QoS sobre MPLS

QoS sobre MPLS habilita a los administradores de red a proveer varios tipos de servicios diferenciados a través de una red MPLS. QoS ofrece clasificación de paquetes, mecanismos de manejo y administración de la congestión. QoS diferenciado es utilizado dentro de los dominios MPLS y maneja los bits de TC de la cabecera o creando múltiples túneles LSP para el mismo destino, pero para cada clase.

El FEC para MPLS QoS es igual a la combinación del destino de red y la clase de Servicio.

2.14. INTERACCIÓN ENTRE LAS DISTINTAS APLICACIONES DE MPLS

En la figura 17, se muestra una visión general de la arquitectura MPLS cuando múltiples aplicaciones son utilizadas.

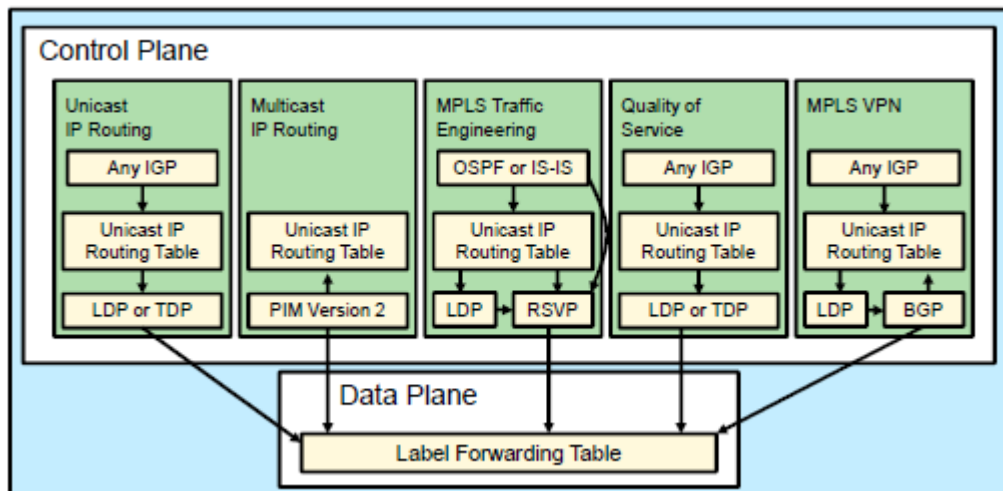


Figura 17. Distintas aplicaciones MPLS. (Cisco Systems Learning, 2012).

Independientemente de la aplicación, la funcionalidad es siempre dividida entre el plano de control y el plano de datos:

Las aplicaciones pueden usar diferentes protocolos de enrutamiento y diferentes protocolos de intercambio de etiquetas en su plano de control. Las aplicaciones todas usan el mismo plano de datos. Los planos de datos de los LSR de capa 3 pueden diferir en soportar la imposición y disposición de etiquetas. Típicamente una etiqueta es asignada por un FEC.

2.15. REVISIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL TRÁFICO DE VIDEO

La generación de contenido de video y luego su transporte es una industria que está moviendo millones de dólares actualmente (Europa Press, 2016). Ya sea programación de entretenimiento, educacional, noticias, estamos viviendo en un mundo en el que las comunicaciones hacen que el consumidor exija contenido rico en multimedia. La escala de las tecnologías y sistemas utilizados en obtener, transportar y distribuir el contenido multimedia es altamente especializado y apasionante. Por ejemplo, la Copa del Mundo de Fútbol y las Olimpiadas realizadas en Brasil, en los años 2014 y 2016 respectivamente, tuvieron una audiencia total definitiva muy alta. En el caso de los Juegos de Fútbol se puede resumir en el siguiente cuadro:

Tabla 3 Estadísticas del Mundial de Fútbol 2016.

Impresionantes cifras de televisión de la Copa Mundial de la FIFA 2014™:

- Total de telespectadores desde casa (al menos un minuto): 3.200 millones (sin cambios respecto a 2010).
- Total de audiencia en casa y fuera de casa (al menos un minuto): 1.013 millones.
- Audiencia en casa de la final (más de 20 minutos), incremento de 12% con respecto a 2010: 695 millones.
- Unos 280 millones vieron los partidos en línea o en un dispositivo móvil.
- Total de horas de transmisión: 98.087 (aumento de un 36 % con respecto a 2010).

(FIFA, 16 dic. 2015)

Y en los Juegos Olímpicos:

Tabla 4. Datos estadísticos de los Juegos Olímpicos 2016

2. Consumo por streaming

- Según Livepanel y BB Business Bureau, el 88% de los latinoamericanos con smartphone declaró haber consumido contenido olímpico.
- En Estados Unidos las plataformas digitales de NBC registraron 11.3 millones de usuarios únicos, un 7% más con respecto al evento de Londres, durante la inauguración de los JJOO a comienzos de agosto.
- Hasta el 19 de agosto, las plataformas de NBC habían alcanzado los 2,500 millones de minutos visualizados, un récord para los JJOO.

3. Redes sociales e internet

- América Latina fue la región con mayor audiencia visitando el sitio web oficial de los Juegos Olímpicos antes de que los juegos comenzaran.
- Instagram fue responsable del 72% del total de acciones en Río 2016 en redes sociales en agosto.
- La página en Facebook de Río 2016 alcanzó los 4.3 millones de seguidores.

(Portada Equipo Editorial, 2016)

Por tanto es importante revisar cual es el estado del arte del video y las tecnologías envueltas en su transporte. En los siguientes literales se revisará las características que tiene el video dentro de las redes de contribución

2.15.1. Las redes de transporte de VIDEO

La industria de la TV abierta y del streaming de video, dependen en mucho de la eficiencia y confiabilidad las redes de transporte que llevan su contenido máspreciado, los eventos en vivo. Por tanto es muy importante definir claramente cuáles son los

componentes de las redes de transporte en video multimedia: Contribución, distribución primaria y entrega o distribución secundaria (figura 18).

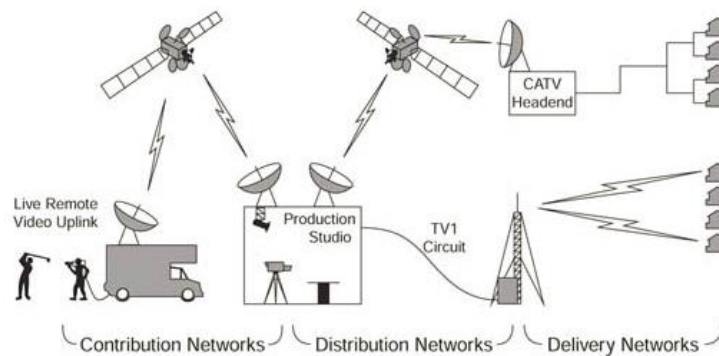


Figura 18. Redes de Contribución, Distribución y Entrega de video. (Simpson, 2013)

Red de Contribución

Para el productor de contenido multimedia, la misión de la red de contribución es clara: entregar con la más alta calidad posible el video capturado al estudio de producción cuidando su calidad y fidelidad. (Hens & Caballero, 2008) La calidad es muy importante porque el contenido del video puede pasar a través de muchos diferentes procesos antes de estar listo para la difusión del contenido. Estos pasos pueden incluir edición, corrección del color, efectos especiales, voz de fondo, mejoramiento del audio, inserción de logo, compresión digital, entre otros. Es común, que un contenido de video pase por lo menos por cien procesos de edición antes de difundir esta información. Cada uno de estos procesos, pueden afectar la calidad del video finalizado, y defectos en el material fuente pueden amplificarse en cada una o más de las etapas.

Varios tipos de programación hacen énfasis en la calidad. Nuevos programas, como por ejemplo, enfatizan la novedad o la primicia del evento, en donde la única cosa peor que la baja calidad del video es el retraso en informar del evento (elecciones presidenciales por ejemplo).

En contraste, esencialmente el video a retransmitirse fuera del horario de su generación, es de esperarse que sea transmitido con alto grado de calidad. Si existieron errores existe la posibilidad de retransmitir la parte afectada siempre y cuando existan copias de calidad.

Pero el contenido más crítico es aquel que se genera en las calles o en eventos deportivos, en donde los cuales el contenido no es replicable y necesita ser reenviado instantáneamente para ser procesado y transmitido con mínimo retardo. Como por ejemplo la Copa Mundial de Fútbol o las Olimpiadas anteriormente mencionadas.

Circuitos o enlaces de datos dedicados especiales, son usualmente usados para formar la red de contribución. Siempre que sea posible para los eventos en “vivo”, los productores gustan de implementar redes redundantes, con dos circuitos, uno principal y otro de respaldo, siempre con distintas empresas portadoras. Los circuitos de video normalmente operan en una dirección y son especialmente diseñados para transportar video analógico y señales de audio. Las empresas portadoras también ofrecen circuitos digitales para transportar señales de video digital de por ejemplo 270 Mb/s sin compresión, estos enlaces son llamados enlaces auxiliares (Pabón, 2016). Debido a que los circuitos de 270 Mb/s y los analógicos normalmente se los implementa en zonas urbanas, el transporte a largas distancias requiere compresión y es transportado a través de redes IP-MPLS. Un reto particular de las redes de contribución ocurre cuando un presentador o comentarista de televisión en vivo, localizado en un estudio de edición, entrevista o mantiene un diálogo con otro periodista o personaje entrevistado en algún lugar remoto. Para el entrevistador trabajar correctamente, el tiempo de retardo debe ser estrictamente controlado. Si el retardo es muy alto, van a existir pausas molestas entre el tiempo en el que una persona parece de hablar hasta que la otra persona empiece a hablar. Para mantener los retardos razonablemente, los productores pueden rechazar el uso de enlaces satelitales, y si es posible eliminar los equipos de procesamiento de video que introducen largos retardos.

Otra preocupación dentro de las red de contribución es la seguridad, particularmente en el contenido de alto valor como son los eventos deportivos. Los productores y dueños del contenido, no les gusta que el contenido sin editar esté disponible a personas no autorizadas. El contenido sin edición puede contener material que es inaceptable para las empresas de distribución y también puede tener contenido que puede ser sujeto de derechos de autoría. La mayoría de productores quieren que su contenido no caiga en malas manos y no sea visto por el público, sino después de terminada la edición.

Las redes IP MPLS trabajan muy bien en el transporte de este tipo de información y han desarrollado redes y estándares para manejar los altos estándares que requieren los productores de video. Empresas como Level 3 en todo el mundo y T-Systems en Alemania usan la tecnología IP para el transporte de eventos en vivo (Hens & Caballero, 2008).

Redes de Distribución Primaria

Las redes de distribución primarias se encargan de enviar el contenido de video de alta calidad a los proveedores de distribución a un precio competitivo. La alta calidad es importante, porque el video puede necesitar procesarse, guardarse o editarse para añadir anuncios o publicidad local. El costo es un factor importante, debido a que los costos a pagarse por los proveedores de distribución puede ser pequeño unitariamente, pero en casos en donde se tienen varias remotas, como es el caso de los enlaces o estaciones satelitales, el valor de la operación puede volverse muy alto por el volumen de decenas o cientos de estaciones a las que hay que entregar la información. La confiabilidad es importante, dado que la interrupción del servicio, puede causar que los consumidores de contenido, prefieran u opten por otro proveedor. También en el caso de la pérdida de una trama de video (que es una fracción de segundo) durante la transmisión de 30 segundos del anuncio de un comercial de televisión puede significar que no sea pagada la publicidad.

La tecnología satelital es la más utilizada para distribuir video a la mayoría de proveedores simultáneamente. Un “alimentador” puede simultáneamente servir a difusoras de televisión, operadores de cable, servicios directo a casa satelitales, operadores de IPTV, etc. La gran ventaja de la tecnología satelital es que el costo para adicionar receptores dentro del área de cobertura es muy bajo. (Hens & Caballero, 2008)

Red de Entrega o Distribución Secundaria

Las redes de entrega de contenido son el último eslabón de la cadena de distribución de contenido. Hay muchas tecnologías utilizadas para repartir el video: XPON, Fibra punto a punto, enlaces inalámbricos punto a punto o multipunto, CATV, XDSL, etc.

El costo asociado con cada una de estas redes es el principal referente para los proveedores de servicio en la toma de decisión respecto a su implementación.

Las redes IPTV son las preferidas porque se puede reutilizar esta red para no solo enviar video, sino audio, telefonía y datos/Internet. El famoso Tripe-PLAY.

2.16. FORMATOS Y PROTOCOLOS UTILIZADOS EN VIDEO

2.16.1. Video Análogo

El video análogo ha sido implementado de diferente manera alrededor del mundo. En Europa 625 líneas son desplegadas a una velocidad de 25 Hz, mientras que en Estados Unidos y en Japón los sistemas son hechos a 525 líneas a una velocidad de 30 Hz (Hens & Caballero, 2008).

Inicialmente el video solo tenía luminancia, representada por Y, para describir la brillantez de la transición del negro al blanco. Cuando el color fue añadido al video, fue necesario añadir la crominancia mediante dos componentes más, U y V, resultando en el modelo YUV.

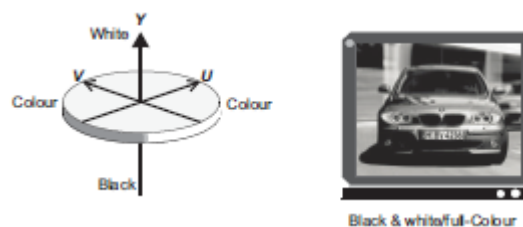


Figura 19. El modelo YUV fue inventado para separar el color y la luminancia y para permitir la compatibilidad entre los aparatos de video en color y blanco/negro. (Hens & Caballero, 2008)

Las señales RGB (red, Green, blue) entrantes desde una cámara de video pueden ser transformadas directamente:

$$\begin{aligned}\text{Luminance (Y)} &= 0.299R + 0.587G + 0.114B \\ \text{Chrominance (U)} &= 0.493 \times (B - Y) \\ \text{Chrominance (V)} &= 0.877 \times (R - Y)\end{aligned}$$

El modelo YUV fue adoptado rápidamente dado que permite compatibilidad entre los viejos equipos blanco y negro y los nuevos sistemas a color.

2.16.2. Video Digital

La siguiente tecnología en la evolución del video fue su digitalización que hace sencillo el control, almacenamiento y distribución de los flujos audiovisuales.

La recomendación ITU-R BT.601 describe como digitalizar una señal YUV en 720 muestras de luminancia y 360 muestras de crominancia por línea. Las muestras se hacen pixeles para crear una pintura que es refrescada cada 25 veces por segundo (Hens & Caballero, 2008).

Tabla 5. Digitalización del video análogo a una versión digital de 720 x 576 pixeles, usando los modelos 4:4:4, 4:2:2 y 4:2:0.

		Pixels/line (horizontal)	Lines/frame (vertical)	Frames/s	Bits/pixel	Mbit/s	Total Mbit/s
4:4:4	Luma Y	720	576	25	8	82.944	248.832
	Chroma C _B	720	576	25	8	82.944	
	Chroma C _R	720	576	25	8	82.944	
4:2:2	Luma Y	720	576	25	8	82.944	165.888
	Chroma C _B	360	576	25	8	41.472	
	Chroma C _R	360	576	25	8	41.472	
4:2:0	Luma Y	720	576	25	8	82.944	124.416
	Chroma C _B	360	288	25	8	20.736	
	Chroma C _R	360	288	25	8	20.736	

(Hens & Caballero, 2008)

Esta recomendación indica cómo realizar el muestreo y cuantización de la señal para obtener una secuencia binaria de pixeles. La digitalización mantiene los tres dígitos del modelo YUV ahora transformado:

- (Y') para la luminancia
- (C_B, C_R) para la crominancia

Sub muestreo de la crominancia

La visión humana es menos sensible a los colores que a la brillantez, entonces la crominancia es posible ser muestreada a bajas velocidades en comparación con la luminancia sin afectar a la calidad de la imagen. El uso del sub muestreo permite una reducción del ancho de banda (Hens & Caballero, 2008).

El esquema muestreo puede ser expresado con una notación de tres dígitos A:B:C, donde A indica la referencia del muestreo de luma. En la tabla 5, A es igual a 4. B representa el factor de muestreo de croma horizontal relativo a A. Finalmente, C representa el factor de muestreo de croma vertical relativo a B.

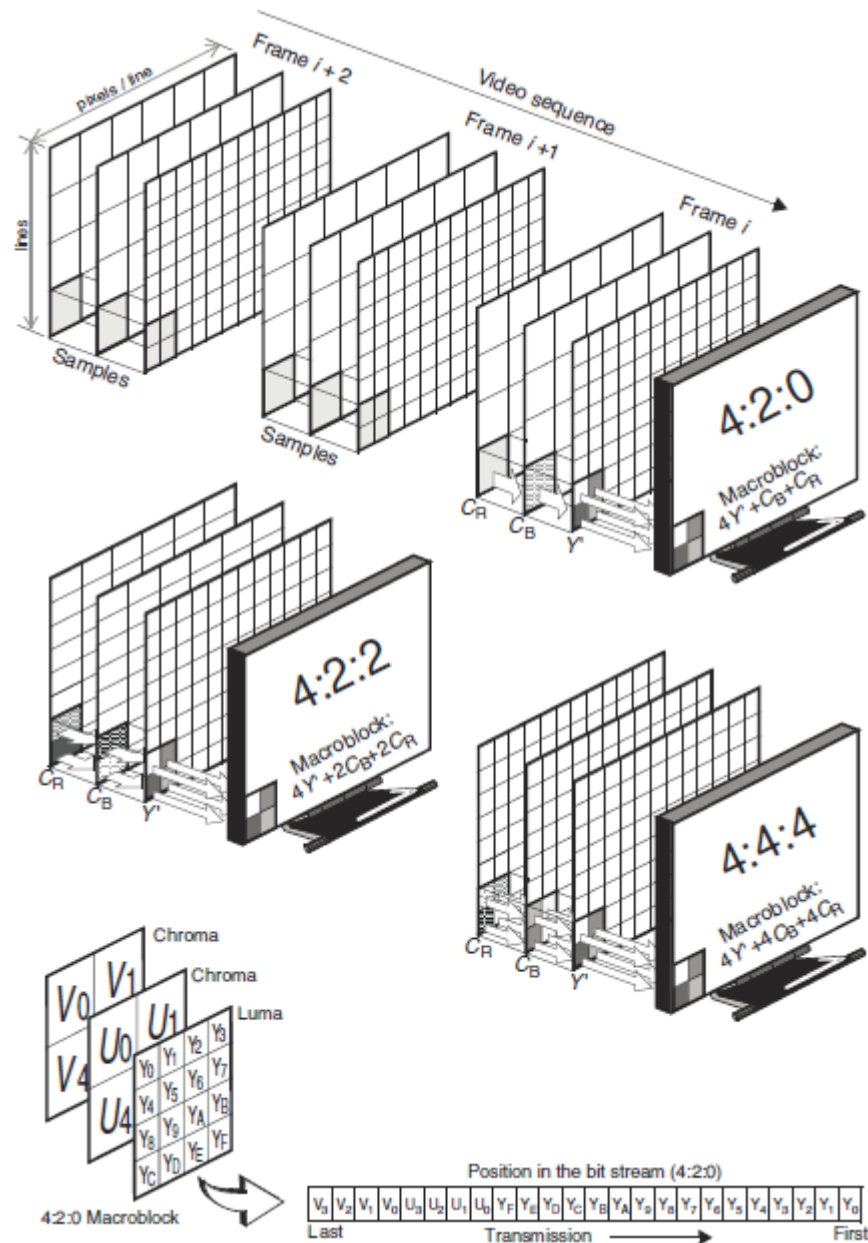


Figura 20. Las señales de video YUV son digitalizadas acorde a algunos esquemas para reducir el ancho de banda. (Hens & Caballero, 2008)

Entonces se tienen tres casos:

4:4:4 significa que todos los componentes de luma y croma son muestreados tanto vertical como horizontalmente a la misma velocidad. Si la luminancia es digitalizada a 720 x 576 muestras, entonces la crominancia es también 720 x 576 muestras.

4:2:2 significa que las dos componentes cromáticas son verticalmente muestreadas a la misma velocidad que luma, mientras que horizontalmente son muestreadas a la mitad de la velocidad. Por tanto, si la luminancia es digitalizada a 720 x 576 muestras, la crominancia es 360 x 576 muestras.

4:2:0 significa que las muestras de croma horizontal y vertical están a la mitad de la velocidad de la muestra de luma. Por tanto, si la luminancia es digitalizada a 720 x 576, la crominancia es 360 x 288 muestras.

2.16.3. Codecs de audio y video.

Hay numerosas especificaciones de codecs para las señales audiovisuales que definen la codificación, compresión y el streaming de contenido audiovisual. Estos estándares facilitan la implementación independiente de codificadores y decodificadores interoperables.

La más popular familia es la MPEG²³, definida por el ISO/IEC²⁴ y la ITU-T²⁵.

MPEG-1 (ITU-T H.261), publicado en 1993, fue el primer códec estándar de video digital que hace posible la evolución desde la dimensión analógica a la digital independientemente de los estándares analógicos. MPEG-1 comprime y codifica el audio y el movimiento en tasas cerca de 1.5 Mb/s, proveyendo al video de resolución equivalente al de un casete de VHS (Hens & Caballero, 2008). MP3, la parte de audio de MPEG-1, se ha hecho muy popular gracias a Internet, las nuevas tecnologías de radio digital soportan el audio digital.

MPEG-2 (ITU-T H.262), publicado en 1995, es un super conjunto del estándar MPEG-1, proveyendo un amplio rango de velocidades desde los 2 a los 20 Mb/s, algunos niveles de calidad y resoluciones de pantalla del video. Las aplicaciones

²³ MPEG: Moving Pictures Expert Group

²⁴ ISO/IEC: International Organization for Standardization and the International Electrotechnical Commission

²⁵ ITU-T: ITU Telecommunication Standardization Sector

MPEG-2 han sido muy populares desde mediados de los 90 y han sido usadas en los satélites, cable, DBS y DVD.

MPEG-4 parte 10 (ITU-T AVC/H.264), publicado en 1999, es un códec muy flexible el cual tiene un rango de velocidades desde 5 kb/s a 10 Mb/s, haciendo posible pensar en el video móvil, el video de definición estándar (SD, Standar Definition) y alta definición (HD, High-definition). MPEG-4 puede ahorrar hasta el 50% del ancho de banda de los servicios de video.

2.16.4. Cómo funcionan los códecs?

MPEG es un cuerpo de trabajo dentro de la ISO que es responsable del desarrollo de los estándares para la codificación y compresión del audio y video, para el transporte de aplicaciones multimedia digitales. Una explicación detallada acerca de los codecs vá más allá del alcance de esta tesis, pero se explora el funcionamiento del MPEG-2 para ilustrar sus fortalezas y debilidades.

Niveles MPEG-2 y perfiles

MPEG-2 es un intrincado estándar que soporta una amplia gama de aplicaciones. Es muy flexible, permitiendo implementaciones con diferentes resoluciones y calidades para hacer posible el transporte de video a través de DVD, satélites, o cable. Sin embargo, en orden de simplificar y reducir costos, los dispositivos comerciales no necesitan implementar el estándar MPEG-2 completo, tan solo un subconjunto que cumple los requerimientos que necesita el video. Entonces este subconjunto está definido por dos descriptores, el perfil y el nivel:

- El perfil (profile), define un subconjunto de herramientas algorítmicas. Cinco perfiles están disponibles para conseguir diferentes niveles de mejoramiento de la calidad. Como se aprecia en la tabla 7.
- El nivel (level), describe las restricciones en parámetros que administran la presentación del video y su transmisión. Visto en la tabla 6.

La exacta combinación de los perfiles y niveles describen un subconjunto de características del MPEG-2 que los encoders²⁶ se encargan de implementar (Hens & Caballero, 2008).

Tabla 6. Valores de niveles, restricciones y aplicaciones.

		Constrains					
		Picture size		Video streaming			
		Maximum lines/frame	Maximum pixels/line	Buffer size	Maximum frames/s	Maximum Mbit/s	Applications
Level	High 1920	1152	1920	9 781 248	60	80	HDTV
	High 1440	1152	1440	7 340 032	60	60	Entry HDTV
	Main	576	720	1 835 008	30	15	SDTV
	Low	288	352	475 136	30	4	Low entry TV

(Hens & Caballero, 2008)

Tabla 7. MPEG-2, combinación de niveles y perfiles.

		Profiles			
		Non - scalable		Multilayer profiles	
		Simple	Main	SNR	Spatial High
Levels	High 1920		4:2:0 80 Mbit/s		4:2:0/4:2:2 100/80/25 Mbit/s
	High 1440		4:2:0 60 Mbit/s		4:2:0 60/40 Mbit/s 4:2:0/4:2:2 80/60/25 Mbit/s
	Main	4:2:0 15 Mbit/s	4:2:0 15 Mbit/s	4:2:0 15/10 Mbit/s	4:2:0/4:2:2 20/15/4 Mbit/s
	Low		4:2:0 4 Mbit/s	4:2:0 720 × 576 4/3 Mbit/s	

(Hens & Caballero, 2008)

Niveles MPEG-2

Los niveles describen los condicionantes en los parámetros de la presentación y streaming del video. Los cuatro niveles definidos son alto (high) 1920, alto (high) 1440, principal (main) y bajo (low); cada uno diseñado para cubrir los requerimientos de las diferentes aplicaciones en términos de tamaño del cuadro, ancho de banda y

²⁶ Encoder: equipo que cumple un determinado estándar y que se encarga de codificar y decodificar el video.

limitaciones de tamaño de los buffers, como se aprecia en la tabla 6 (Hens & Caballero, 2008).

Perfiles de MPEG-2

Hay cinco perfiles definidos, tres de ellos más sofisticados, capaces de entregar algunas cualidades en una estructura multicapa, mientras que hay dos que son orientadas a implementaciones simples.

- Simple: perfiles no escalables, asignables para aplicaciones simétricas y sensibles al tiempo como las videoconferencias que requieren retardos bajo los 150 ms. Para conseguir esto, el perfil no usa B-frames para evitar el reordenamiento y el encolamiento.
- Principal: perfil no escalable, asignable a aplicaciones asimétricas como IPTV, porque la mayoría de decodificadores soportan el perfil principal y el nivel principal. El perfil principal maneja todo los tipos de tramas: I, P y B, es mucho más eficiente, pero añade cerca de 120 ms de retardo por el reordenamiento.
- SNR: perfil escalable que soporta dos capas de mejoras. La capa inferior transmite el flujo a una calidad específica, mientras la superior contiene los refinamientos del video, permitiendo de esta manera dos calidades simultáneas. El perfil está propuesto para ser utilizado en la TV digital terrestre.
- Espacial: perfil escalable sugerido para emisiones HDTV compatibles con los receptores de resolución estándar. Las capas bajas envían imágenes de baja resolución mientras la alta capa mejora con la resolución alta.
- Alta: un perfil escalable que soporta tres capas de consecutivas mejoras para conseguir de esta manera máxima flexibilidad y diferentes calidades. El perfil alto soporta el esquema 4:2:2 e incluye ambos, el SNR y herramientas extendidas espaciales. (Hens & Caballero, 2008)

Compresión MPEG

MPEG reduce el tamaño del flujo de video, comprimiéndolo para maximizar los recursos tales como el ancho de banda o el espacio en discos, cuales son los medios de

transporte o alojamiento de señales de video, pero son comprometer la calidad. En algunos aspectos, la compresión es un compromiso entre el ancho de banda requerido y la calidad obtenida, como se aprecia en la Figura 21.

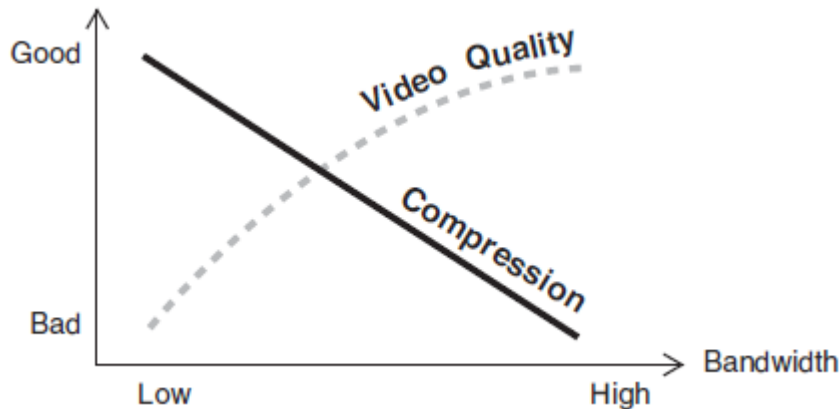


Figura 21. Nivel de compresión en relación entre la calidad del video y el ancho de banda disponible. (Hens & Caballero, 2008)

Las técnicas de compresión son generalmente basadas en la percepción humana y los algoritmos matemáticos. En particular MPEG usa las siguientes técnicas, detallado en la Figura 22:

- 1. Procesamiento Espacial o codificación dentro de las tramas (intra coding)**, usa la transformada discreta coseno (DCT, discrete cosine transformation) para remover formas que el ojo humano no pueda ver. Esta técnica es basada en el hecho que los pixeles no son independientes pero relacionados en color y brillo con los vecinos.
- 2. Procesamiento Temporal o codificación entre tramas (intra-frame coding)**, la cual mira por redundancias entre tramas consecutivas y predice el movimiento de bloques. Esta compresión toma ventaja del hecho que muchas áreas de un marco son las mismas que el anterior marco, con algunas áreas que son predecibles (p.ej el escenario es repetido a través de algunas tramas).
- 3. Código variable en longitud, Variable length code (VLC)**, el cual usa codificación corta para reducir el tamaño. Este es un proceso matemático para reducir el tamaño del código digital.

4. Run Length encoding (RLE), la cual reemplaza largas secuencias de ceros para reducir el tamaño del flujo digital; este es otro proceso matemático.

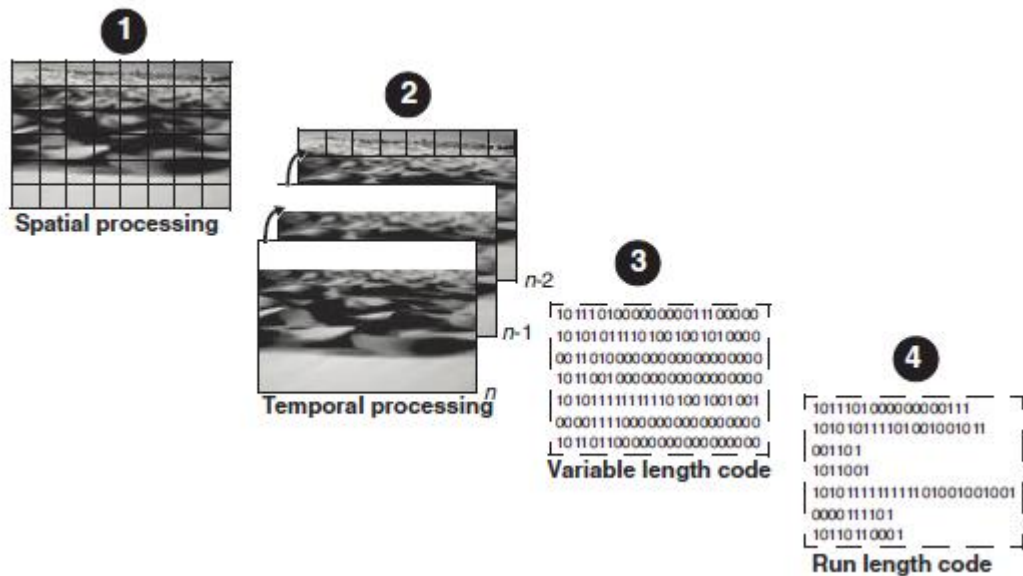


Figura 22. Los cuatro pasos de la compresión MPEG-2 (Hens & Caballero, 2008)

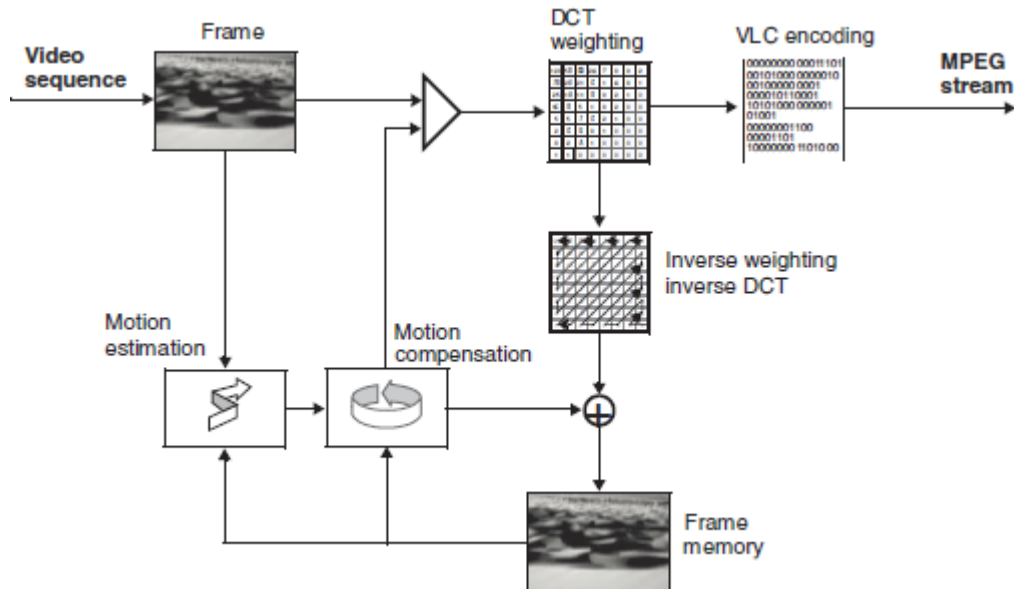


Figura 23. Modelo Simplificado del codificador (encoder) MPEG-2. (Hens & Caballero, 2008)

2.16.5. Estructura del codificador

Para implementar los procesos arriba mencionados, los codificadores MPEG tienen que combinar algunos elementos como el procedimiento DCT para remover las

redundancias entre tramas, la identificación de las áreas estacionarias, vectores de movimiento para las imágenes en movimiento y codificación VLC. En adición, el codificador también puede ejecutar el proceso inverso para identificar y compensar las distorsiones de compresión, resultando en una mejorada calidad del video, ver figura 23.

Después de ejecutar algunos procesos y algoritmos de compresión, MPEG genera un flujo VBR (variable bit rate, tasa de bits variable), esto es un inconveniente adicional, debido a que el transporte es normalmente basado en canales con tasa constantes de bits CBR (constant bit rate). Un buffer es usado para adaptar la tasa de bits entre el codificador y el canal de transmisión; para conseguirlo y evitar sobre flujos o bajo flujos, el nivel del buffer es constantemente monitoreado:

- Si el nivel del buffer decae, el codificador puede incrementar el tamaño de la salida del DCT en orden de prevenir al bajo uso de la memoria,
- Si el nivel sube, el codificador puede decrecer el tamaño de la DCT en orden de prevenir el rebosamiento.

El resultado es una rata casi constante de bits a la salida. En el lado del receptor el decodificador debe tener un buffer que puede ser utilizado para filtrar el jitter de los paquetes, ver Figura 24. En tamaño de los buffers de los sitios finales deben ser los mismos.

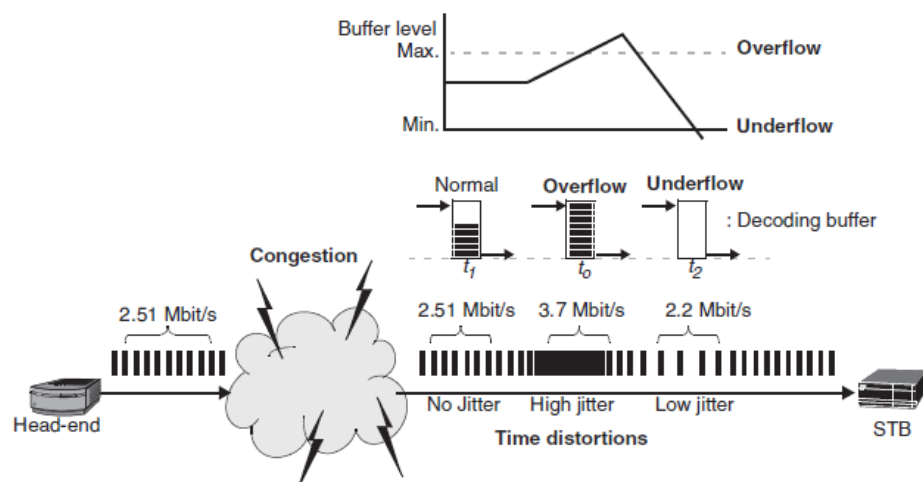


Figura 24. Jitter de los paquetes entre arribos filtrado por el buffer del decodificador. (Hens & Caballero, 2008)

2.16.6. Tipos de tramas

La mejor forma de describir el video en formato MPEG es mediante la secuencia de algunos tipos de tramas. La primera trama del grupo, conocida como trama I, es codificada totalmente como una imagen independiente, mientras que las tramas subsecuentes, conocida como tramas P y B solo contienen las diferencias comparadas con las tramas predecesoras y los vectores de compensación.

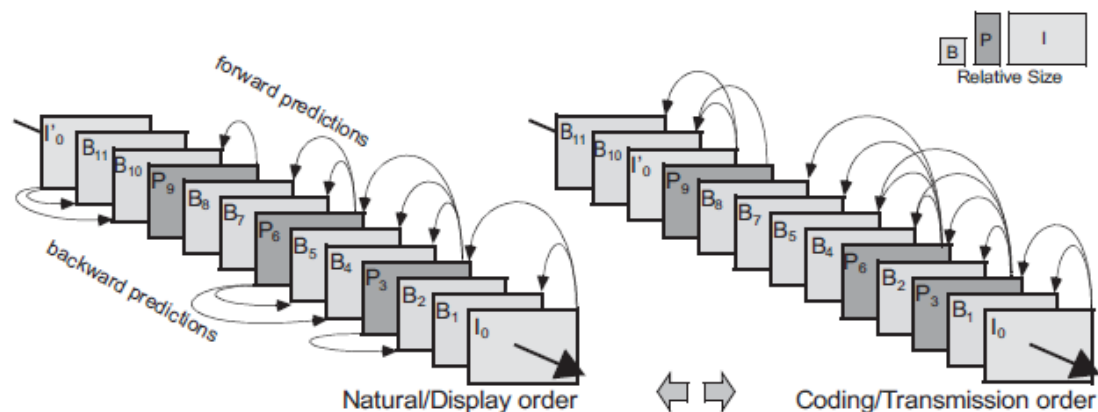


Figura 25. Tipos de tramas en MPEG. Un GOP es limitado por tramas I 12/15 de largo. (Hens & Caballero, 2008)

TRAMAS I (entre tramas) La compresión en estas tramas es conseguida por remover la redundancia espacial y no la temporal. Entonces las tramas I no tienen relación con otras tramas, y pueden ser reconstruidas como una sola imagen digital, totalmente independiente de otra imagen.

TRAMAS P (tramas de predicción) contiene solo las diferencias con la trama previa. Bloques pueden ser codificados independientemente, como las tramas I, o usando una referencia de la trama I o P cercanas previamente codificadas y usualmente incorporan la compensación de movimiento.

TRAMAS B (tramas de predicción bidireccional) pueden ser codificadas entre tramas o pueden usar las referencias pasadas o futuras de las tramas P e I. Predicciones futuras, o una referencia de una trama futura, requieren un cambio del orden natural de la trama antes de su transmisión y el receptor debe recodificar. Esta operación causa un retardo por reordenamiento.

Un grupo de imágenes GOP²⁷, es una secuencia de tramas embebidas entre dos tramas I. En teoría, el número de tramas en un GOP es ilimitado, pero en la práctica, típicamente hay hasta 15 tramas, P y B ocurriendo entre dos tramas I consecutivas. Hay que tomar en cuenta los problemas y consecuencias de una trama perdida y entender el impacto que cada una de estas tres tramas puede tener en el caso de suceder. Si una trama I es perdida entonces todo el GOP es afectado, dado que las siguientes tramas pueden referenciarse de ella, muestras que la perdida de una trama B no impacta otras tramas dado que no es utilizada como referencia. La consecuencia de perder una trama P puede ser similar a perder una trama I debido a que esta puede ser utilizada como referencia (Hens & Caballero, 2008). Es importante también analizar el impacto de estas tramas sobre las aplicaciones:

- En IPTV el STB (set top box) debe esperar a recibir la primera trama I para desplegar las imágenes sobre la TV del cliente.
- Un video comprimido solo con tramas I puede permitir STOP/FORWARD/BACKWARD, porque solo las tramas I son independientes. Sin embargo la compresión debe ser mínima.
- Una secuencia combinando tramas I y P pueden conseguir mejor compresión pero menores puntos a los cuales utilizar las funciones de STAR/STOP en una secuencia de video.
- Una secuencia combinando los tres tipos de tramas, se consigue una mejor compresión pero menores puntos en los cuales las funciones de STAR/STOP estarían disponibles en una secuencia de video.

Esquema de generación de flujos MPEG

Típicamente un programa solo tiene un flujo de video y audio, y eventualmente puede también tener un flujo de datos. Sin embargo, otras combinaciones son también posibles, por ejemplo programas en varios idiomas llevan varios flujos de audio y el usuario puede escoger el idioma. Hay incluso aplicaciones que pueden llevar algunos flujos de video; un buen ejemplo de esto son los programas de TV multi cámara, donde

²⁷ GOP: group of pictures

los suscriptores están invitados a seleccionar la vista que ellos quieren obtener a cualquier momento, durante los eventos en vivo o eventos deportivos.

En la figura 26 y en las siguientes líneas, se describen los pasos para codificar un flujo de video:

- 1. La salida de una cámara de video es una señal multimedia análoga hecha por flujos de audio y video.
- 2. Los codificadores digitalizan las señales y realizan la codificación usando las técnicas MPEG. Las salidas de cada flujo individual de audio, video y datos son flujos elementales (ES, elementary streams), como se aprecia en la figura 27.
- 3. El siguiente paso involucra los paquetizadores que realizan la segmentación de cada flujo recibido, añadiendo las cabeceras del flujo elemental (PEH, packetized elementary stream header) para identificar, sincronizar y administrar cada flujo individual. El resultado es una secuencia paquetizada elemental de flujos. (PES, packetized elementary streams), como se aprecia en la figura 28.
- 4. El multiplexer combina todos los flujos elementales definidos por cada programa en el flujo de transporte común (TS, transport stream) que acepta los paquetes del flujo de transporte (TSP, transport stream packets) de 188 bytes (Figura 29). Cada TSP puede contener hasta de 5 bytes de cabeceras y un payload de 183 bytes en los cuales es depositado el contenido de los PES.
- 5. El TS es dividido para crear paquetes IP/UDP que pueden también ser mapeados al payload RTP. Generalmente un paquete IP contiene hasta siete TSP, en la mayoría de los casos cuando tramas Ethernet estándar son usadas en la capa de transporte. Después de transmitir los paquetes de información audiovisual son enviados y distribuidos a través de la red IP/carrier-ethernet hasta alcanzar su destino.
- 6. Una vez que los paquetes IP son entregados al STB, la operación inversa debe ser realizada finalmente para obtener las señales de audio y video para ser desplegadas.

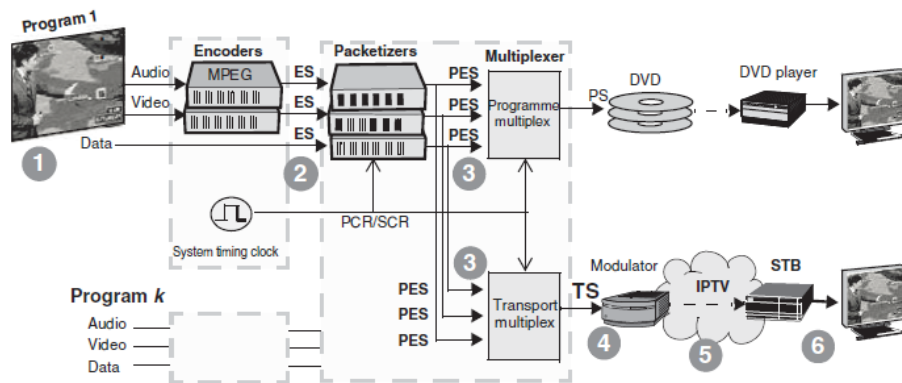


Figura 26. Dos tipos de flujos pueden ser generados con el mismo origen de la señal: un flujo de programa (PS, programme stream) y un flujo de transporte (TS, transport stream), son dos formatos con la misma estructura. (Hens & Caballero, 2008)

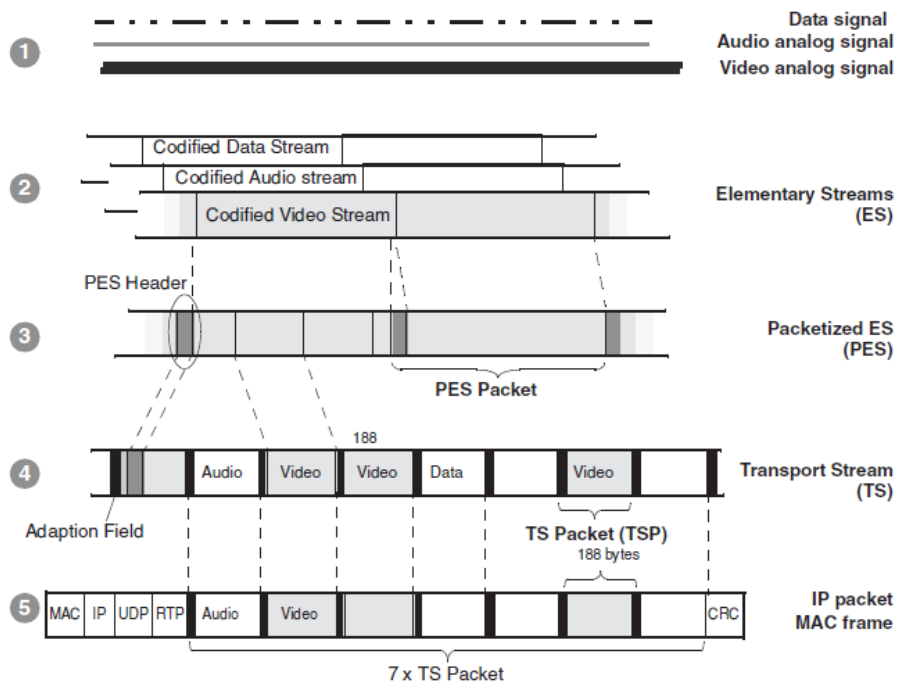


Figura 27. Cada flujo elemental es enviado al procesador que crea flujos estándares llamados flujos elementales empaquetados (PES, packetized elementary streams), realizados de entradas originales de audio, video y datos. El PES es finalmente segmentado en paquetes de tamaño fijo (TSP, transport stream packets) y puestos juntos para crear el flujo de transporte (TS, transport stream). (Hens & Caballero, 2008).

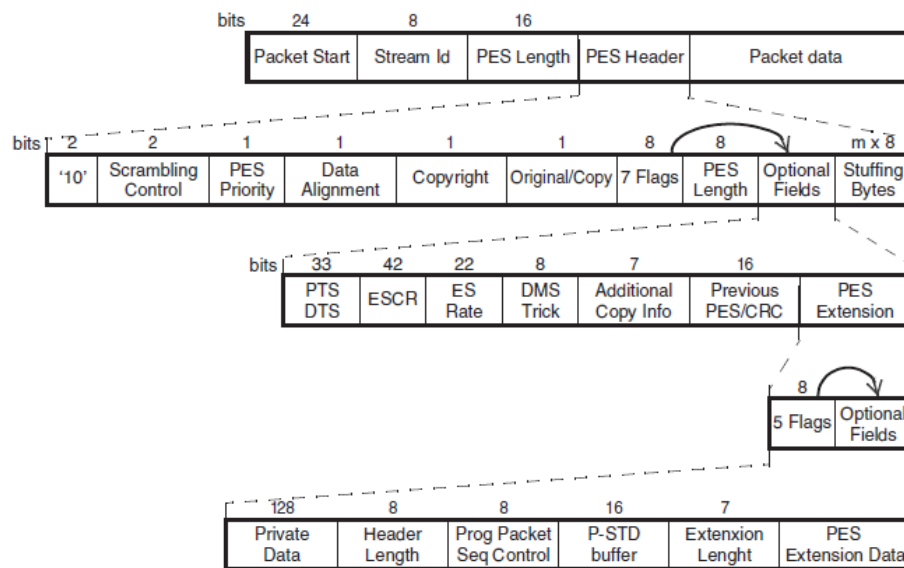


Figura 28. Diagrama de un Packetized elementary stream (PES). (Hens & Caballero, 2008)

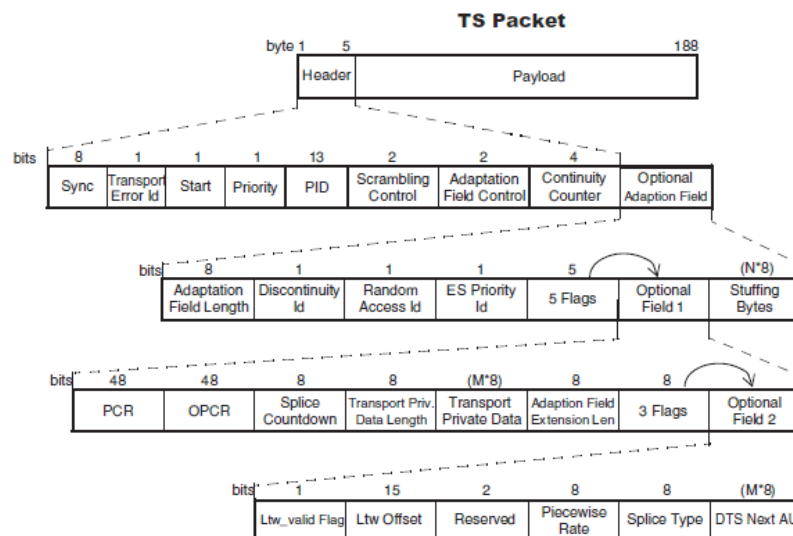


Figura 29. Cabecera de un paquete Transport stream (TS). (Hens & Caballero, 2008)

Dos tipos de flujos pueden ser generados con la misma señal de origen, el flujo de programa (PS, programme stream) y el TS, los cuales tienen diferentes formatos, aun cuando el contenido es el mismo. PS es utilizado en DVD's, mientras que TS es utilizado en las redes de transporte multimedia.

2.16.7. EL flujo de transporte (TRANSPORT STREAM, TS)

Independientemente del códec a utilizarse (MPEG-2, MPEG-4), hay algunas alternativas para el transporte de señales de video sobre IP (Hens & Caballero, 2008):

- MPEG-2 transport stream: Originalmente diseñada para los flujos MPEG-2, este es también usado para llevar flujos MPEG-4. El principal trabajo de TS es multiplexar el video y audio digital y sincronizar el receptor. La encapsulación completa es [carga útil + TS + UDP + IP].
- Protocolo Real-time (RTP): Originalmente creado para el transporte de la información sensible al retardo; este puede ser utilizado para transportar y sincronizar los flujos de video que son enviados separados debido a que ni tienen capacidades de multiplexación. Un buen complemento de RTP es RTPCP (RTP control protocol), el cual es utilizado para sincronizar múltiples flujos, monitoreo de la calidad y proveer realimentación. Esta opción es la más eficiente debido a las pocas cabeceras. La encapsulación completa es [carga útil + RTP + UDP + IP].
- Una tercera opción, que incluye TS y RTP, disfruta de todas las funcionalidades pero es la menos eficiente al incrementar las cabeceras. La encapsulación es [carga útil + TS + RTP + UDP + IP].

MPEG-2 TS es el transporte más comúnmente utilizado en el transporte digital. Las soluciones actuales prefieren conservar el transporte TS, aun cuando la carga útil puede ser del tipo MPEG-4 o WM9, debido a su confiabilidad y facilidades para el monitoreo del servicio.

2.16.8. MPEG-2 Transport Stream

Las características del flujo de transporte (transport stream) incluyen, la multiplexación del audio/video/flujos de datos, la descripción de la estructura de los TS, indicaciones para decodificar y desplegar el video, el control de los errores de transmisión y la sincronización del receptor para el correcto despliegue del video.

El TS es considerado como una secuencia continua de paquetes del flujo de transporte (transport stream packets, TSP) que contienen información audiovisual de los programas, ver figura 27. El TSP tiene una cabecera que describe y administra los contenidos del paquete, ver figura 29. El paquete identificador (packet identifier, PID) es el primer campo en ser decodificado, debido a que este indica el tipo de información

contenido en el campo de transporte, el cual puede llevar contenido audiovisual o información relacionada a la administración de la decodificación.

2.16.9. Impedimentos de la red:

Las redes de mejor esfuerzo, como las redes basadas en IP, tienen dificultades para entregar el apropiado QoS diferenciado para cada tipo de aplicación. Este hecho es un serio inconveniente para toda arquitectura IP nativa que, en general, necesita de la ayuda de elementos adicionales para soportar el video. Estos requerimientos adicionales necesarios para establecer las políticas de admisión, para controlar la congestión o simplemente para manejar las diferentes prioridades del tráfico. El objetivo final es garantizar el QoS requerido para que los paquetes que transportan cada aplicación puedan llegar a su destino y entregar la información de la manera más fidedigna. Algunos de los diseños se basan en sobre provisionar la red y esta estrategia es cara y no garantiza los resultados finales.

Los requerimientos de calidad son diferentes para cada aplicación, típicamente el tráfico de Internet funciona bastante bien con las políticas de “mejor esfuerzo”, pero el video o los servicios de voz requieren un control más estricto de las pérdidas de paquetes, el retardo, la variación del retardo y los errores. En la tabla 8, se observa la publicación realizada por la ITU-T respecto a la Recomendación ITU-T Y.1541 relacionada con el control de QoS sobre redes de transporte de aplicaciones en tiempo real. La clase 6 es la que trata específicamente del video.

Tabla 8. Definiciones provisionales de Clases de QoS para redes IP y objetivos de desempeño en red.

Network performance parameter	Nature of network performance objective	QoS Classes	
		Class 6	Class 7
IPTD	Upper bound on the mean IPTD	100 ms	400 ms
IPDV	Upper bound on the $1 - 10^{-5}$ quantile of IPTD minus the minimum IPTD (Note 1)	50 ms	
IPLR	Upper bound on the packet loss ratio	1×10^{-5}	
IPER	Upper bound	1×10^{-6}	
IPRR	Upper bound	1×10^{-6}	

(ITU -T, TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU, 2011)

2.17. REVISION DE QOS Y SLA EN LA RED DE TRANSPORTE

En la vida cotidiana, los acuerdos respecto a la “calidad” que se entrega por un servicio, es el diferenciador que hace más apetecible a uno u otro proveedor. Por ejemplo, las escalas en un vuelo internacional, o los tipos de medidas de seguridad que posee el transporte que se utiliza en una movilización pueden ser factores que incidan en la compra o no de un servicio. Mientras más competitivo es el mercado para un servicio particular, más exigente son los acuerdos del contrato de servicio, los cuales son llamados acuerdos de prestación de servicio (Service-level agreements, SLA). En el mundo de los proveedores de servicio, la competición por proveer conectividad de aplicaciones IP hace extremadamente importante los SLA para llegar a acuerdos objetivos en la provisión del servicio. Dentro de la IETF, el grupo IPPM (IP Performance Metrics) ha definido un conjunto de métricas estándar con procedimientos para mediciones que pueden ser aplicadas para medir el desempeño de redes IP (también ITU-T lo ha hecho como se trató en el numeral 2.16.11). En adición, la IETF ha definido la arquitectura de los Servicios Diferenciados (Diffserv architecture), que habilita a las redes IP para soportar y respetar estrictos niveles de calidad de servicio. Para definir un SLA, hacemos uso de las siguientes métricas:

2.17.1. Perdidas

Las perdidas caracterizan los descartes de paquetes que ocurren entre los puntos de ingreso y salida de la red. Para la voz sobre IP, los códecs comúnmente soportan los efectos de perder 30ms en las muestras de voz. La pérdida de dos o más muestras de 20ms de voz da como resultado una degradación perceptible de la calidad de voz. Asumiendo una distribución variable de pérdidas en un simple flujo de voz, un 1 por ciento de tasa de pérdidas en un flujo de voz, puede resultar en valores no aceptables de pérdidas cada tres minutos en promedio. 0.25 porciento de perdida de paquetes resulta en pérdidas inadmisibles cada 53 minutos. Por tanto la medida de pérdidas permitidas en la red deben ser menores o iguales a 0.25 por ciento.

El throughput de TCP decrementa como el inverso de la raíz cuadrada de la probabilidad de pérdida de paquetes. Consecuentemente el valor de 0.25 es asumida también para la transmisión de datos.

2.17.2. Ancho de banda y Throughput

Los servicios IP son comúnmente vendidos con un ancho de banda definido que refleja la capacidad de acceso a un enlace de datos. El ancho de banda definido no siempre es el mismo del throughput conseguido. El throughput caracteriza el ancho de banda definido entre los puntos de ingreso y salida de la red. Los requerimientos para un SLA son definidos para enlaces punto a punto y el throughput conseguido para el tráfico TCP/IP, depende de la probabilidad de pérdida de paquetes y del RTT. Por tanto el throughput puede no relacionarse con el ancho de banda contratado en el acceso.

2.17.3. Preservación de la secuencia en los flujos de paquetes

La preservación de la secuencia en los flujos de paquetes no es un componente de los SLA, pero es aceptada como una buena práctica en el diseño de las redes IP. Actualmente los fabricantes y proveedores de servicio, tomando en cuenta los efectos adversos del desorden en la entrega de los paquetes ofrecen en sus redes de transmisión de aplicaciones en tiempo real la preservación de la secuencia de entrega de paquetes.

El reordenamiento comúnmente afecta al video en tiempo real debido a que las aplicaciones en el usuario final no tienen tiempo para reordenar las tramas recibidas o simplemente no tienen implementada esta funcionalidad. Pero en ambos casos implica pérdida de paquetes.

Para prevenir la entrega de paquetes fuera de orden, ningún balanceo de carga debe ser realizado por medio de la técnica por paquete (per-packet). Solamente la técnica por flujo (per-flow) hace que los paquetes experimenten el mismo delay, jitter, pérdidas.

2.17.4. Disponibilidad

La disponibilidad de los servicios IP generalmente es definida de dos maneras:

Disponibilidad de red (también conocida como conectividad) es la fracción de tiempo que la conectividad de red está disponible entre la entrada y la salida de datos.

Disponibilidad del servicio es la fracción de tiempo en el cual un servicio está disponible entre los puntos de entrada y la salida definidos dentro de un SLA. Este puede ser definido independientemente de la disponibilidad de la red en cuyo caso, la disponibilidad del servicio no puede superar a la disponibilidad de la red.

2.17.5. Retardo de red.

El SLA para el retardo de red esta generalmente definido en términos del retardo en un solo sentido (one-way) para aplicaciones no adaptivas de tiempo crítico, como es el video y el la voz sobre IP, o en términos del tiempo de viaje total o round-trip time (RTT) para aplicaciones adaptivas, como aquellas en las que se utiliza TCP como protocolo de transporte. El Retardo en un solo sentido (One-way delay), caracteriza la diferencia en tiempo entre recibir un paquete al ingreso de una red de datos y su transmisión a un punto de salida definido dentro de la red. RTT caracteriza la diferencia de tiempo entre transmitir un paquete IP hacia un destino y recibir su correspondiente respuesta desde el destino (Evans & Filsfils, 2004).

Cuatro componentes comprenden el retardo en la red.

Propagación, depende del medio físico, por ejemplo en la fibra óptica, el retardo de propagación es aproximadamente de 5ms por cada 1000 kilómetros.

Conmutación es la diferencia de tiempo entre recibir un paquete en la interfaz de entrada de un ruteador y el encolamiento del paquete en los buffers del interfaz de salida. Para los enrutadores ubicados en el núcleo o core, son típicamente del orden de 20us por paquete.

Encolamiento es la diferencia de tiempo entre el encolamiento de un paquete sobre el buffer del interfaz y el inicio de la serialización del paquete en el enlace de salida.

Serialización es el tiempo necesario, dependiendo de la velocidad del enlace y del tamaño de los paquetes, para colocar los bits sobre el enlace. El tiempo de serialización puede ser representativo en enlaces lentos pero son despreciables en enlaces sobre los 34Mb/s.

Los diseñadores de red generalmente utilizan el estándar G.114 como metas para el soporte de voz en una red IP. Ese estándar establece un tiempo de 150 ms de extremo a extremo en un solo sentido para garantizar la satisfacción en la mayoría de las aplicaciones de voz (Evans & Filsfils, 2004). Altos retardos pueden ser aceptables, pero pueden también reducir la satisfacción del usuario. El diseño tomar en cuenta estos valores que contribuyen al retardo de la red (retardo de propagación a través del backbone, retardo de encolamiento por la congestión, y retardo por serialización) y el retardo del servicio (debido a la codificación de los gateways de VOIP y las colas para eliminar el jitter) al momento de planificar la red.

Los requerimientos para el funcionamiento de las aplicaciones de datos están menos definidas. Las aplicaciones de datos interactivas de negocios críticos (Business-critical) tienen como objetivo de tiempo de respuesta un segundo, para asegurar el flujo del pensamiento (o llámese confort) del usuario (Evans & Filsfils, 2004). Para las aplicaciones no críticas de negocio se puede manejar un tiempo de respuesta de 10 segundos para asegurar la atención del usuario (Evans & Filsfils, 2004).

2.17.6. Variación del (Retardo) Delay o Jitter

La variación del retardo en una red es generalmente analizado como la variación en un solo sentido del flujo de los paquetes consecutivos (Evans & Filsfils, 2004).

Se deben tomar en cuenta los componentes del retardo y contrastarlos con su variabilidad:

- El retardo provocado por la propagación puede variar debido a los cambios en la topología de la red (por ejemplo cuando un enlace falla) el cual causa picos súbitos en el jitter.
- Retardo causado por la conmutación puede variar debido a que algunos paquetes requieran mayor procesamiento que otros.
- La variación del retardo por encolamiento ocurre cuando las colas oscilan entre llenas y vacías.

Los buffers de jitter remueven variación del retardo haciendo que los retardos variables de vuelvan constantes en los sistemas de destino. Los buffers de Jitter añaden retardo

extremo a extremo, de tal manera que hay que considerar esto en el presupuesto de la red (Evans & Filsfils, 2004).

2.18. CALIDAD DE SERVICIO EN EL BORDE O ACCESO Y EN EL BACKBONE O NÚCLEO

Es necesario cuando se habla de calidad de servicio, mirar o revisar el diseño de red en el núcleo y borde. Es distinta la manera en la que se trata el comportamiento del tráfico en estos dos sistemas. En el núcleo (backbone), donde hay enlaces de alta capacidad y donde los tráficos son altamente agregados, los requerimientos de SLA pueden ser reducidos a la provisión de ancho de banda adecuado (en exceso). En cambio, un apropiado diseño y consideraciones son necesarios dentro de la red de acceso/borde por las siguientes razones:

- El cliente determina el ancho de banda del acceso. Para minimizar los costos de red, los clientes casi siempre retardan el aumento de estas capacidades lo más posible. Consecuentemente, los enlaces de acceso son siempre minimizados, resultando en congestión.
- Para los CPE administrados por el proveedor de servicio, debe existir un ancho de banda garantizado para mantener la gestión del cpe, de tal manera poder obtener estadísticas del servicio y poder en algunos casos reaprovisionar el equipo.

Por estas razones, aun cuando el sobre provisionamiento de ancho de banda puede ser una alternativa viable a la configuración de servicios diferenciados en el backbone, los servicios diferenciados son esenciales en la red de acceso/borde de los proveedores de servicio (Evans & Filsfils, 2004).

2.19. ARQUITECTURA DE LOS SERVICIOS DIFERENCIADOS.

La arquitectura DIFFSERV ofrece manejo de diferentes tipos de acuerdos en los que se soporta y garantiza retardos, variaciones de retardo y pérdidas en la misma red IP para diferente tipos de servicio o clases de tráfico (Evans & Filsfils, 2004). Esta es la tecnología preferida para los desarrollos de servicios en IP con calidad de servicio en las redes actuales; este permite conseguir escalabilidad mediante el uso de

clasificaciones de tráfico por flujo, marcaciones de paquetes, mediciones y acondicionamiento de la red en el segmento de acceso con relativa sencillez. En el core solo se necesitan un subconjunto de estas funciones de tal manera que se garantice el paso de estas funciones.

En el acceso/edge, la arquitectura Diffservs clasifica el tráfico dentro de un número limitado de agregados de tráfico o clases y entonces se colorea o marca este usando los campos Diffserv code pont (DSCP) dentro de la cabecera IP para identificar la clase. Estos agregados son evaluados para conformarse contra perfiles acordados y son acondicionados usando formadores o shapers, en donde los paquetes son retardados hasta que se conforman o se les aplican políticas, en donde los paquetes pueden ser eliminados o recoloreados (remarcados).

Para asegurar la diferenciación de los SLA por clases, Diffserv aplica encolamiento y control de colas para las clases de tráfico en base a estas marcas dadas por el DSCP. Diffserv define los lineamientos que dada implementación dentro los fabricantes de equipos deben plasmar en sus equipos. Estos comportamientos de reenvío son llamados per-hop-behaviors (PHB's) para ser aplicados en cada salto.

Actualmente, diffserv define tres PHB's:

- **Reenvío expedito o expedited forwarding (EF) PHB** soporta tráfico con bajo retardo, bajo Jitter, bajas pérdidas y requerimientos de ancho de banda asegurados o garantizados. EF es típicamente implementado por medio de colas de prioridad estricta para garantizar un encolamiento prioritario y un aislamiento de otras colas.
- **Reenvío asegurado o assured forwarding (AF) PHB** soporta tráfico de datos que tiene requerimientos de ancho de banda garantizado, como es las garantías de ancho de banda mínimo o absoluto. Cuando dentro de las colas AF el tráfico es preminentemente TCP, se puede implementar RED (random early detection), un mecanismo de control de congestión que trabaja en conjunto con AF PHB para garantizar la mejora y maximización del throughput de TCP cuando la congestión aparece.
- **PHB por defecto o default PHB** conocido como mejor esfuerzo, los paquetes que no son reconocidos por los otros dos agregados, terminan en esta clase por defecto.

Y como su nombre lo indica, trata a los paquetes en base a una política de mejor esfuerzo por entregarlos sin garantizar nada.

Per-Hop Behavior

Per-Hop Behavior	Value	Service
Default	000 XXX	Best effort
Expedited Forwarding (EF)	101 110	Low delay
Assured Forwarding	XXX XX0	Guaranteed bandwidth

Example of ToS byte (EF):

1	0	1	1	1	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

- IP Precedence field = 101 (bits 5-7)
- DSCP field = 101110 (bits 2-7)
- ECN field = 10 (bits 0-1)

Figura 30. Per Hop Behavior. (Cisco Systems Learning, 2012)

3. CAPÍTULO 3:

ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL TRÁFICO DE VIDEO

3.1. UN VISTAZO AL MERCADO DE CONTRIBUCIÓN

El tipo de tráfico de video a analizarse dentro de este trabajo de titulación está restringido a la red de contribución y este es un contenido inédito, traído desde los eventos deportivos o eventos políticos, hacia los estudios de producción. Este contenido, no tiene copias y debe ser tratado con excesivo cuidado, a diferencia de IPTV, el cual opera o es transportado por las redes de distribución secundaria. El contenido de IPTV que puede ser retransmitido, ver figura (Rodrigues, A., 2013).

Video Service Providers Mapping to Broadcast Industry

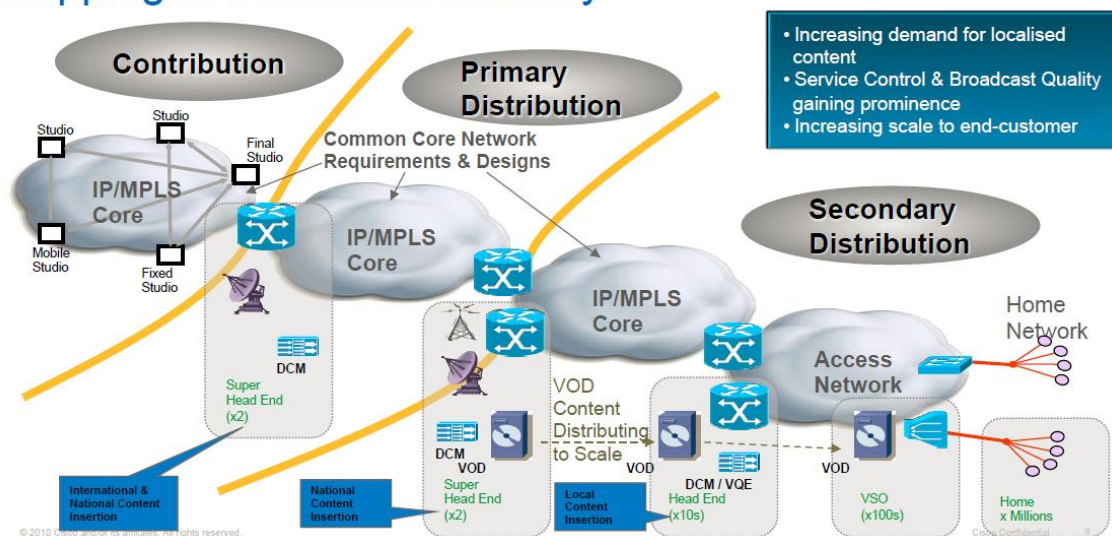


Figura 31. Proveedores de servicios de Video. Identificación de las industrias de Broadcasting. (Rodrigues, A., 2013)

Los broadcasters o difusores, han utilizado por más de 20 años las redes ATM/SDH para enlazar sus estaciones o repetidoras (Pabón, 2016). Dentro del mundillo de las comunicaciones, estos enlaces son llamados enlaces auxiliares. Pero en la actualidad, los difusores conocen que las redes IP/MPLS, pueden ofrecer una calidad de experiencia igual o mejor que las redes legadas y a la vez pueden compartir en esta red espacio, para además transportar otros servicios, como VOIP, datos de facturación,

inventarios, etc. Se busca una sola red que provea múltiples servicios y que además sea fácil de administrar y operar.

Además hay que considerar que la digitalización de la televisión ha llegado y el apagón digital está a la vuelta de la esquina (Vicepresidencia de la República del Ecuador, 2016). Los costos de este cambio tecnológico no son despreciables y a la vez las nuevas inversiones en las tecnologías 4K/8K (ver figura 32) están a las puertas de ser ya una realidad. Esto conlleva a la necesidad de considerar no solo prever los equipos terminales sino también las interfaces y enlaces que van a transportar estos contenidos. Y por eso la necesidad de prever las interfaces de 10G/40G/100G (Rodrigues, A., 2013).

UHDTV – 4K and 8K Production

Uncompressed Delivery (Suitable for very low latency contribution)

- 2160p50/60 (10-bit 4:2:0 & 4:2:2) 12 Gbit/s
- 2160p50/60 (12-bit 4:2:0, 4:2:2, 4:4:4) 24 Gbit/s
- 4320p50/60 (10-bit 4:2:0 & 4:2:2) 48 Gbit/s
- 4320p50/60 (12-bit 4:2:0, 4:2:2, 4:4:4) 96 Gbit/s
- ITU BT.2020 (production standard) additionally supports 120Hz
– Even higher rates may be required



Compressed Delivery (Suitable for Distribution)

Potential for 50+% bitrate reduction of a typical AVC Encoder

- HD: AVC 6–9 Mbps → HEVC 3–4.5 Mbps
- SD: AVC 1.5–2.5 Mbps → HEVC 0.8–1.5 Mbps
- 4Kp30: AVC 18–25 Mbps (estimate) → HEVC 6–13 Mbps
- 4Kp60: HEVC under 25 Mbps



Figura 32. UHDTV. Una realidad en el mercado de los difusores. Velocidades de estos flujos de video. (Rodrigues, A., 2013)

Las redes satelitales fueron durante mucho tiempo, las que proveyeron el transporte auxiliar entre Quito y Guayaquil de los enlaces auxiliares entre sucursales (Pabón, 2016). Pero actualmente con la globalización y las economías de mercado (Salazar, 2014), las redes terrestres interurbanas y nacionales se han vuelto muy asequibles económicamente, y fundamentalmente resultan muy atractivas para el transporte de contenido deportivo dado su bajo retardo

3.2. MODELOS DE REDES Y DE NEGOCIOS PARA LOS DIFUSORES Y EMPRESAS PORTADORAS

Los difusores históricamente han preferido implementar sus redes de transporte independientemente de las empresas portadoras (Pabón, 2016). Solo recientemente,

han empezado a relacionarse y a plantear modelos de negocio. Actualmente, se tienen los siguientes modelos:

Modelo 1: los difusores solicitan a las empresas portadores solo transporte físico (p.ej. la fibra oscura) y ellos mismos construyen sus propias redes. Esto acarrea problemas a mediano plazo debido a la poca experiencia del transporte de datos.

Modelo 2: el proveedor de transporte entrega todo, desde la capa física hasta el cpe. Pero el difusor escoge los coders/decoders en los extremos para el tratamiento del video. Es muy difícil y arriesgado para la empresa portadora ofrecer dentro de su contrato de servicios un SLA.

Modelo 3: el proveedor entrega servicios gestionados completos, es decir un servicio extremo a extremo que incluye, la capa física, los CPE, la administración de los coders/decoders y a su vez un sistema de monitoreo. Con este modelo es posible ofrecer un SLA contractualmente.

3.3. CARACTERISTICAS DE LAS REDES IP

Es necesario definir una serie de características que las redes IP de transporte tienen:

- Una red IP, desde su definición es no orientada a conexión.
- Pueden tener pérdidas, pero pueden ser “arregladas” acudiendo al auxilio de las capas superiores como TCP
- Son elásticas, pueden crecer con bajo costo de equipamiento y son escalables.
- No hay garantía en el orden de las entregas de los paquetes.
- Pueden ser compartidas por varios servicios.

Estas son las premisas para desarrollar y diseñar una red IP.

3.4. RETOS TECNOLÓGICOS PRINCIPALES PARA EL DISEÑO DE UNA RED DE TRANSPORTE IP.

Para el análisis de los principales retos tecnológicos, se plantean las siguientes preguntas:

1. Transporte básico

¿Cómo diseñar eficiente mente un ancho de banda y capacidad para entregar un servicio de transporte y manejar los casos de falla?

¿Cuáles de las tecnologías de paquetes a utilizar, IP/MPLS capa 2 o Capa 3?

¿Utilizar Multicast o unicast o los dos?

¿Cómo proveer servicios de transporte de video y a la vez otros servicios en una red convergente?

2. Acuerdos de niveles de servicio en Video

¿Cómo garantizar la entrega de contenido con un SLA requerido por el cliente?

¿Cómo optimizar la calidad de la experiencia del usuario final a un costo lo más bajo posible en complejidad e inversión?

¿Cuál es el SLA indicado, es decir cuál es la pérdida paquetes, retraso, jitter máximo permitido?

3. Monitoreo del servicio y administración

¿Cómo verificar el SLA requerido en la entrega del servicio?

¿Cuán rápido y eficientemente se puede resolver y aislar los problemas?

¿Cómo proveer y activar los servicios de transporte de video?

¿Qué elementos puedo monitorear?

¿Qué elementos puedo operar?

3.5. REQUERIMIENTOS DE LA RED DE TRANSPORTE PARA CONTRIBUCIÓN

En la tabla 9, se muestra un comparativo entre IP, MPLS y SDH legado.

Tabla 9. Comparativo de los requerimientos de la red de transporte para contribución en varias tecnologías

Xport Requirement	IP	MPLS	Stone Age SDH
Convergence Time	✓	✓	✓
Admission Control	✓	✓	½
Bandwidth Reservation	½	✓	✓
Route Pinning	½	✓	✓
Replication	✓	✓	≠ ✗
Strategic Considerations (VPN, value add)	½	✓	≠ ✗
Service Coexistence (stat multiplexing)	✓	✓	≠ ✗

(Rodrigues, A., 2013)

De esta tabla se concluye que MPLS es una tecnología madura que me permite manejar todas las características de protección en SDH y nos da la flexibilidad y escalabilidad del IP.

3.6. PRINCIPALES DESAFIOS O RETOS PARA DISEÑAR UNA RED DE CONTRIBUCIÓN

Dentro del diseño de una red se deben considerar los siguientes puntos:

1. Simplicidad. El diseño de una arquitectura de transporte tiene que ser eficiente, altamente confiable, escalable y administrable para la operación
2. Enlaces con diversidad determinística. Es necesario que cuando se plantea un diseño redundante y de alta disponibilidad, todos los enlaces, equipos, planta externa nunca incluyan una sola ruta o equipo concurrente en su implementación. Este es un reto muy grande y a tomarse muy en cuenta en todo el diseño, tanto en los equipos del proveedor de servicio, como en los terceros que brindan los enlaces urbanos, interurbanos, nacionales e internacionales.
3. Administración de la capacidad versus el tiempo. En las redes actuales, es necesario utilizar los recursos lo más eficiente posible. Por tanto los enlaces locales urbanos,

como los interurbanos deben manejarse con alta eficiencia para poder utilizar la capacidad al máximo y obtener el mejor rendimiento de bit/dólar posible.

4. Robustez en el plano de reenvío con QoS. El video en tiempo real utilizando los mismos recursos de otro tipo de tráfico es posible, utilizando las herramientas de QoS disponibles.

5. SLA pedido por del cliente. Como se mencionó en el apartado 3.2, la única alternativa para garantizar un SLA extremo a extremo y de acuerdo a solicitudes del cliente es posible solo con el modelo 3, es decir, gestionar los decoders y cpe en los sites del cliente

Estos son los elementos claves para desarrollar una red de contribución

3.7. REQUERIMIENTOS DEL SLA PARA VIDEO.

En la sección 2.17 se vieron las principales métricas para definir un SLA en transporte. Ahora es necesario aterrizar estos valores al transporte de video y verificar cuáles de ellos los podemos manejar con las tecnologías tenemos en los equipos de conmutación para lograr nuestros objetivos de calidad

- **Disponibilidad del Servicio.** Es posible optimizar la disponibilidad del servicio utilizando las metodologías y tecnologías que los fabricantes de productos de networking proveen en sus equipos. Así por ejemplo en el fabricante Juniper tenemos la guía (Juniper Networks, 2012) en el que se detallan las maneras de obtener una alta disponibilidad. De la misma manera la planta externa y la contratación de enlaces con proveedores (llámense terceros), deben ser correctamente manejados en la planificación de capacidades para considerar la redundancia en enlace y caminos. Los SLA a convenirse con los terceros, deben ser los más estrictos para mejorar la disponibilidad.
- **Ancho de banda y Throughput.** El diseño de la red debe proveer la capacidad apropiada para los tráficos de servicios vendidos. Esto es un problema que deben manejar las áreas de diseño de ingeniería de red y operación & mantenimiento. Además de verificar la correcta implementación y funcionamiento de QoS sobre la red.

- **Preservación de la secuencia en los flujos de paquetes.** Actualmente no se toma en cuenta este parámetro, debido a que las implementaciones (Cisco, 2017) actuales de red y las mejores prácticas de diseño indican que los paquetes en el plano de reenvío deben utilizar la metodología “por flujo” en vez de “por paquete”. Con el solo uso de esto no se producen problemas por pérdida de secuencia. Solo en casos muy específicos y por configuración expresa de los ingenieros de operación en las redes de proveedores se puede cambiar este comportamiento a por paquete.
- **Retardo de los paquetes a través de la red de transporte.** Las causas predominantes en el retardo en las redes IP/MPLS descritas en el apartado 2.17.5 son: retardo de propagación, retardo de encolamiento, retardo de serialización y retardo de conmutación. El retardo de propagación es una propiedad fija de la topología y solo es afectada cuando el retardo de encolamiento no es minimizado. Y el retardo por encolamiento depende del perfil de tráfico que este siendo analizado, por ejemplo, un perfil utilizando las colas EF va a tener mejor tratamiento del retardo que un tráfico marcado con AF11.

Al analizar el retardo mediante mediciones de tráfico en un periodo de 24 horas (ver figura 33), normalmente es apreciable y estimable un promedio de cómo se comportó el tráfico en ese periodo de tiempo. Pero en periodos cortos de tiempo, las micro ráfagas pueden causar encolamiento, impactar el retardo, el jitter y las pérdidas.

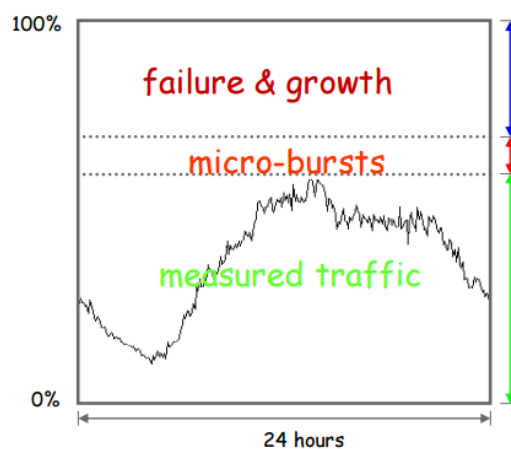


Figura 33. Mediciones de tráfico de un canal de datos. (Eckert, 2016)

Para determinar cuál es la relación entre el tráfico medido en promedio a largo plazo y las micro ráfagas de corto plazo se acude al estudio realizado y presentado por (Eckert, 2016). El estudio determina que el tráfico IP se aproxima más al modelo Marlovian o también llamado Poisson (en este modelo también caen el tráfico en tiempo real).

Per Hop Queueing Delay vs. Utilisation

[Telkamp]

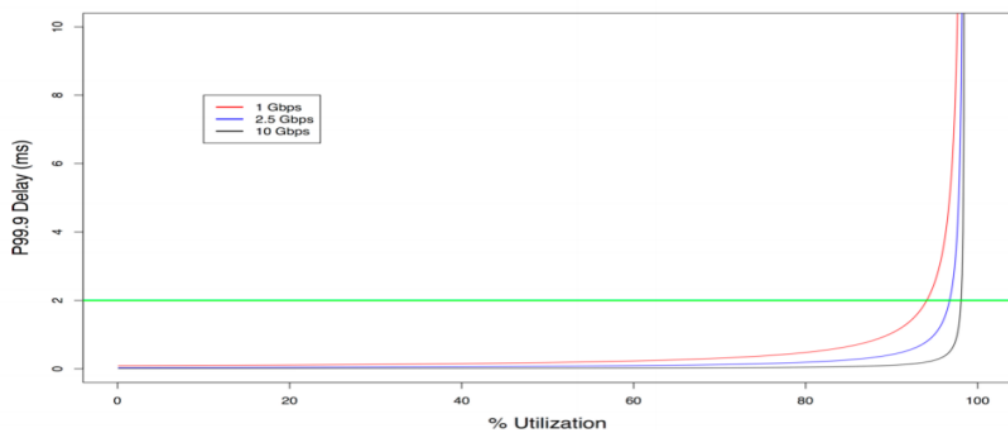


Figura 34. Gráfico en el que se analiza el delay de encolamiento versus la utilización de un enlace. (Eckert, 2016)

De este modelo de tráfico, representado en la figura 34, se puede determinar lo siguiente (Eckert, 2016):

- a. Por ejemplo en los enlaces gigabitethernet, el sobreprovisionamiento del 10% es requerido para tener un delay menor a 1ms.
 - b. En los enlaces de baja capacidad (<1Gb/s) el sobre aprovisionamiento es significativo.
 - c. En los enlaces de capacidades superiores a 1Gb/s el factor de sobre aprovisionamiento se hace muy pequeño.
- **Variación del retardo.** El jitter o variación del retardo es un parámetro que es tratado como se vio en la sección 2.16.5, en donde los de-jitters buffers (también llamados play-out buffers) trabajan para hacer constante el delay en la red (Clarence & Evans, 2002).

Las redes de core IP que son diseñados para soportar aplicaciones de tiempo real se estiman con un presupuesto de 5-10 ms de jitter en la red. Por tanto con planificación de red y aplicando QoS es posible manejar el jitter.

- **Perdidas de paquetes.** Las pérdidas de paquetes es uno de los factores que es imposible de manejar en el caso de falla de enlaces, conmutación por alta disponibilidad de caminos o fallo total de nodos. Los mejores diseños de red proveen conmutaciones sub-50ms en donde si existen perdida de paquetes muy pequeñas del orden de los 0.25% (Clarence & Evans, 2002)

Por tanto la pérdida de paquetes es el principal reto, y esto no se resuelve con planeamiento ni con QoS.

Por tanto ahora se definen las métricas de SLA a plantearse en el diseño de la red e contribución, utilizando la tabla 8 (clase 6) y el siguiente gráfico (ver figura 35):

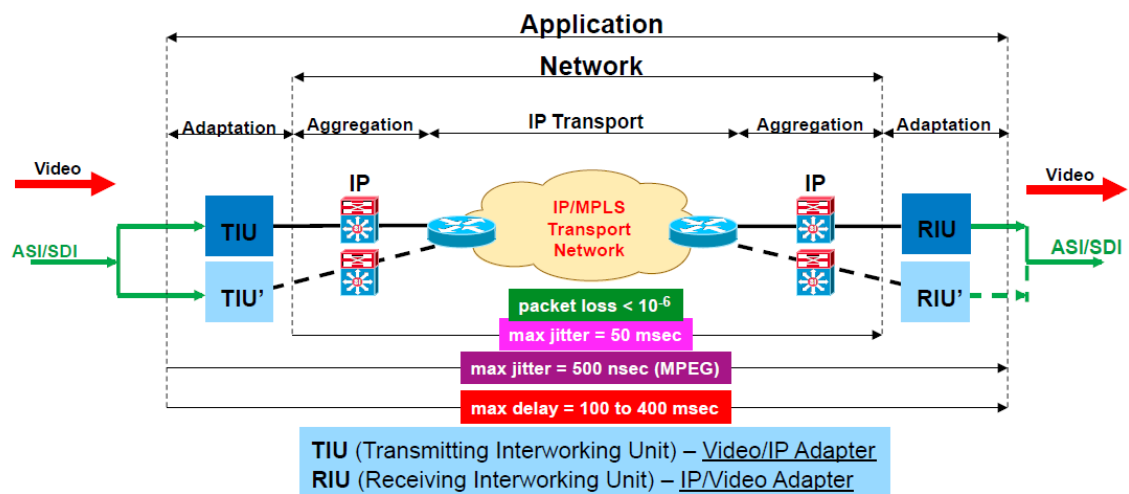


Figura 35. SLA de video para las redes de Contribución en las empresas portadoras. (Rodrigues, A., 2013)

Tabla 10. Valores definidos para el diseño de la red de Contribución

#	Métrica	Valor	Acrónimo	Definición
1	Perdida de Paquetes	$<10^{-6}$	IPER	IP packet Error Ratio
2	One way Delay	≤ 100 ms	IPTD	IP packet Transfer Delay
3	Jitter	≤ 50 ms	IPDV	IP packet Delay Variation
4	-----	$<10^{-6}$	IPLR	IP packet Loss Ratio
5	-----	$<10^{-5}$	IPRR	IP packet Reordering Ratio

Fuente el autor

3.8. IMPACTOS DE LA PERDIDA DE PAQUETES EN LA RED DE CONTRIBUCIÓN

El mayor problema con las pérdidas de paquetes es la pérdida de tramas MPEG dentro de un TS y la pérdida de tablas MPEG, visto en el numeral 2.16.7, lo cual hace invalido al resto de tramas provocando un efecto bola de nieve que invalida el video hasta que una nueva trama “limpia” llegue a sincronizarlo (Rodrigues, A., 2013).

Sin tablas MPEG, los decodificadores no pueden decodificar provocando errores, que en peor de los casos provocan que el receptor se inhiba y reinicie, añadiendo minutos de indisponibilidad (Rodrigues, A., 2013).

Las pérdidas de diferentes tipos de paquetes resultan en diferentes tipos de impactos visuales, llamados también artifacts, ver figura 36 y 37:



Figura 36. Video Artifacts. Slice Error presente en la imagen a y b. En la imagen c se observa la pixelación. Los dos artifacts ocurren cuando una trama I o P se pierde. (Rodrigues, A., 2013)



Figura 37. Ghosting. En esta imagen, la pérdida de una trama I, cerca de un cambio de escena, continúa mostrando la escena previa al cambio. Con forme el decoder sigue recibiendo tramas B y P del nuevo GOP, este añade nueva información a la vieja escena, causando el efecto “fantasma”. (Rodrigues, A., 2013)

Comúnmente en el mercado de los difusores, un MTBA (mean time between artifacts) de dos horas o más es una métrica común, es decir, no más de un error en una película de dos horas. Pero esto es poco, y a los proveedores los difusores están solicitando que los MTBA sean del orden de días (Rodrigues, A., 2013).

Packet Loss example

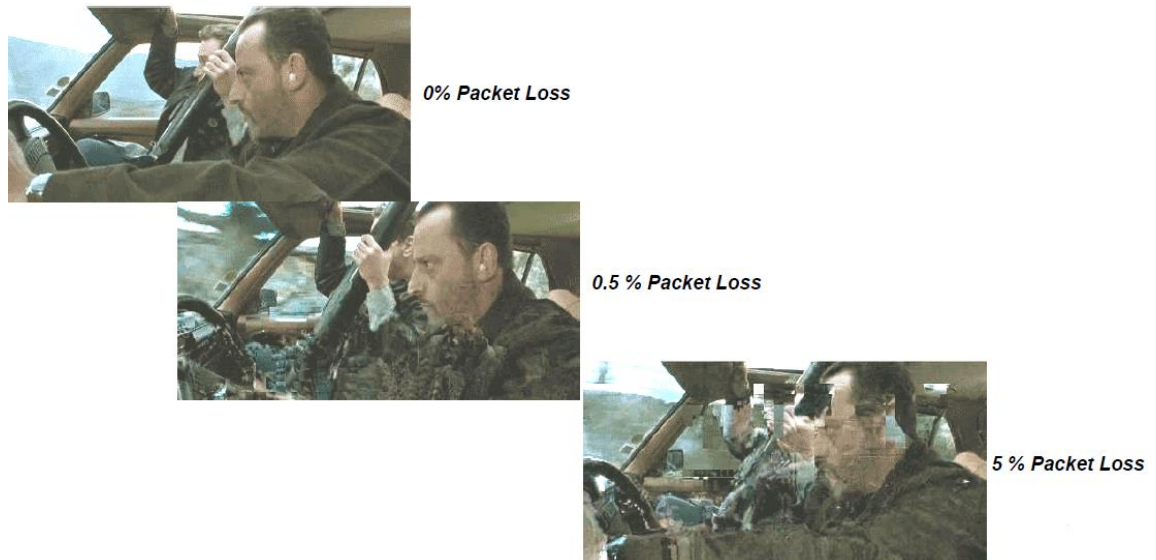


Figura 38. Imagen con pérdida de paquetes. (Rodrigues, A., 2013)

La restauración de los 50 ms que la tecnología de transporte SDH provee en casos de falla, no es suficiente para eliminar o pretender eliminar los artifacts, ver figura 38. La pérdida de una trama I resulta en la pérdida de referencia de las tramas P e I. Esta dependencia causa la llamada degradación acumulativa de la imagen hasta el arribo de una nueva trama I (cumulative picture degradation, melt-down). Estos 50 ms, implica una probabilidad x de que encontremos una trama de referencia (I o P).

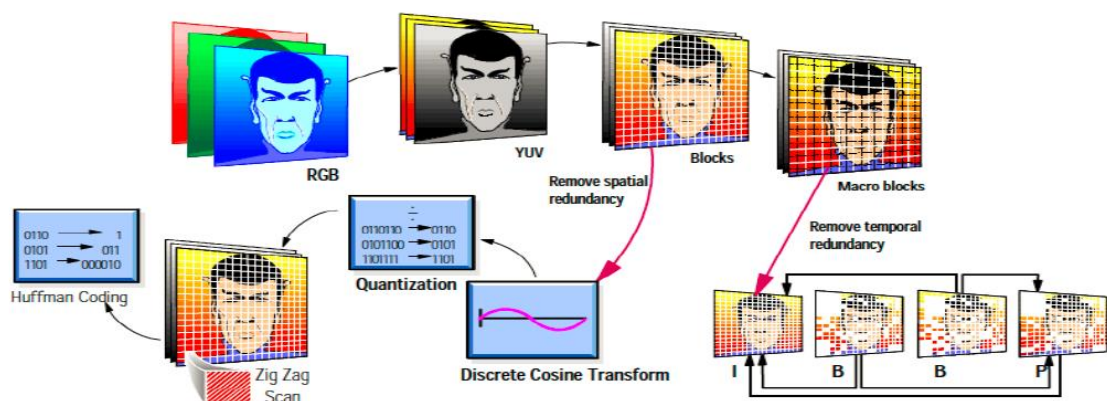


Figura 39. Compresiones espaciales, temporales y matemáticas de un video en MPEG. (Rodrigues, A., 2013)

Resumiendo lo visto en el apartado 2.16.6, la codificación del video se la realiza en tres dominios: espacial, temporal y matemático, ver figura 39.

La compresión **Temporal**, analiza la diferencia entre un cuadro y otro. Hay que recordar que el video es una secuencia de fotos, y con esta compresión se analiza cual es la diferencia entre la foto que tomo ahora y la foto que voy a tomar en 33ms. La diferencia se calcula y se elimina la redundancia entre cuadros.

La compresión **Espacial**, analiza el cuadro de referencia y busca información redundante en el mismo cuadro y se eliminan estas redundancias.

La compresión **Matemática**, Una vez establecida la trama de las compresiones Temporal/Espacial, se corre el análisis matemático y se remueven los bits de esta trama.

De este proceso se obtiene un GOP, que es un cuadro principal + cuadros predictivos y la diferencia entre el cuadro actual y futuro. Las tramas bidireccionales que son el resultado de la diferencia. Con el GOP se tiene una secuencia MPEG.

El cuadro I tiene la referencia para el GOP, que puede tener una duración de $\frac{1}{2}$ o de 2 segundos. Si se pierde la información de un cuadro I se puede afectar por 1 o más segundos. Por ejemplo, en referencia a la figura 41, si se tiene un GOP MPEG-2 de 500ms con un formato 7:3:1, eventos que tienen una duración en la red de 50 ms (buscar una ruta alternativa por alta disponibilidad), tiene un impacto en que se tiene una probabilidad altísima del 34% de encontrar una trama I durante ese corte, ver figura 40.

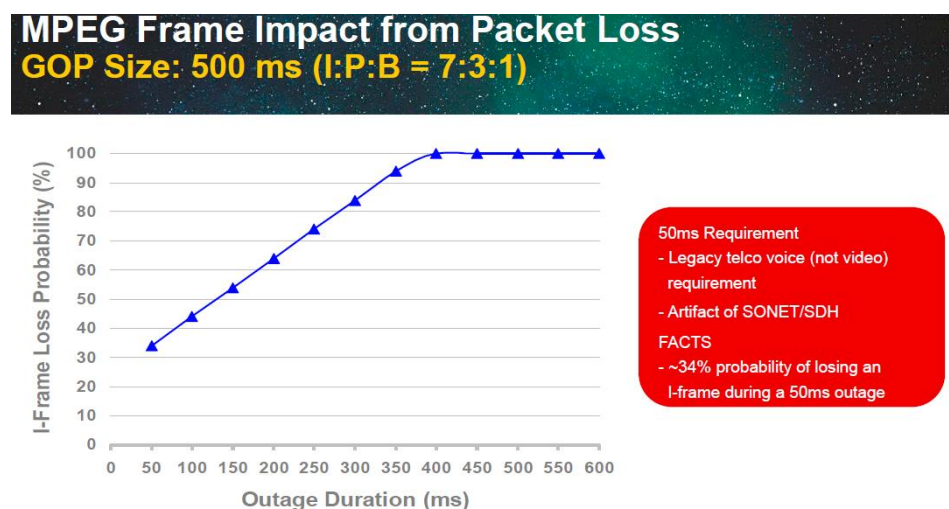


Figura 40. Cuadro que evalúa el % de pérdida de tramas I versus el tiempo de indisponibilidad de la red. (Rodrigues, A., 2013)

3.9. EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS DISTINTOS TIPOS DE VIDEO FRENTE A PÉRDIDAS DE PAQUETES EN LA RED

El análisis realizado en el paper (Greengrass J., Not All Packets Are Equal, Part 2: The Impact of Network Packet Loss on Video Quality, 2009) del tamaño de las tramas MPEG de dos videos, muestra que el tamaño de las diferentes tramas cambia con la naturaleza del tipo de video, ver figura 41. Los dos videos corresponden a: un video que tiene lentitud de movimientos (Susie) y un video de alta velocidad en los movimientos (Football). Los dos videos fueron codificados con MPEG-2 a la resolución de 704x480, con un GOP 15:2 a 29.97 fps.

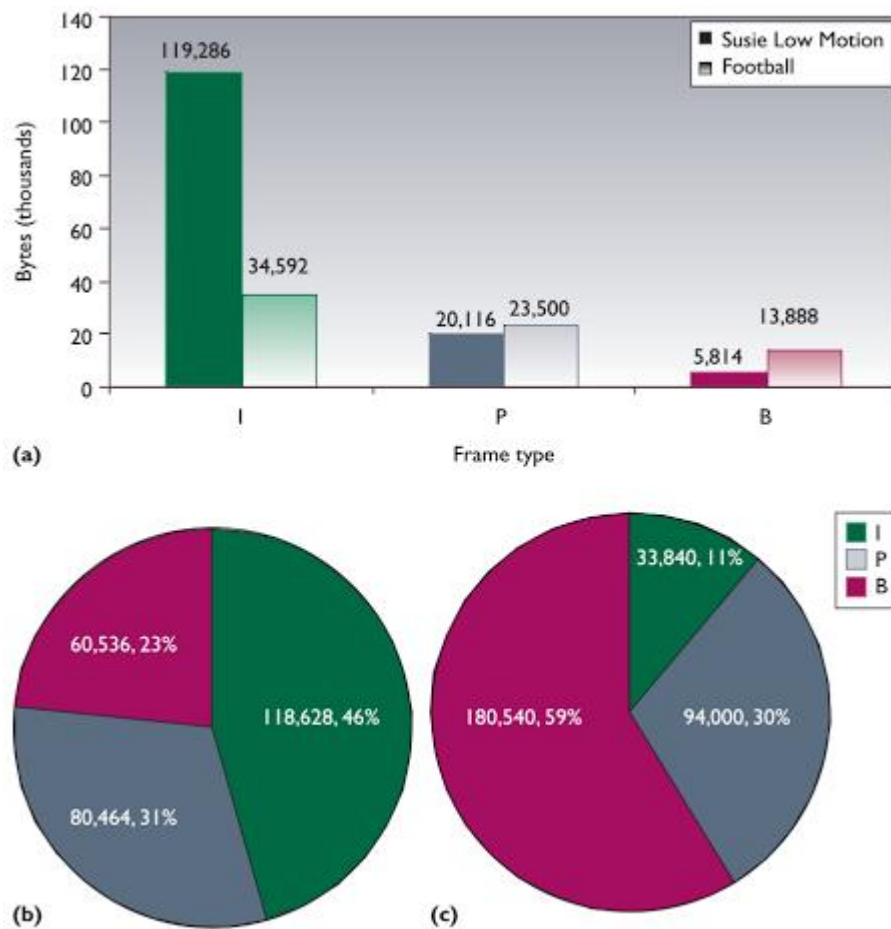


Figura 41. Bytes por tipo de trama. a) examina los dos videos, para determinar el promedio del tamaño en bytes para cada tipo de trama. En b) (Susie) y en c) (Football) se determina el número total de bytes por cada tipo de trama. (Greengrass J., Not all packets are equal, part i: Streaming video coding and SLA requirements, 2009)

El resultado de este estudio muestra que los videos con baja movilidad o lentos producen más tramas I están sujetos ser transportados en varios paquetes IP. A diferencia de los eventos deportivos en los que las tramas B son más numerosas.

Esta información es muy interesante, porque para una red MPLS es mejor transportar video deportivo que un video estático.

En la figura 42, se ve un payload de paquetes IP, en donde por ejemplo, perder el paquete 7397 implicaría perder toda una trama I.

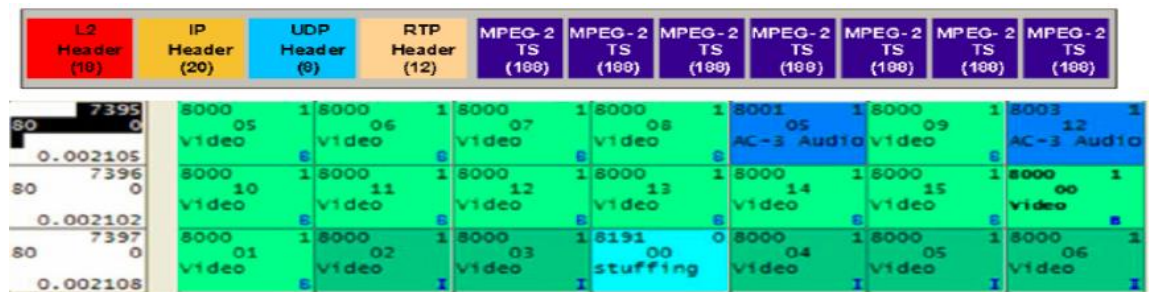


Figura 42. Salida de un analizador de protocolos que permite analizar un flujo MPEG al nivel de las tramas IPB. (Rodrigues, A., 2013)

El mismo estudio (Greengrass J., Not All Packets Are Equal, Part 2: The Impact of Network Packet Loss on Video Quality, 2009), ha desarrollado un cuadro, presentado en la figura 43, y muestra como el tiempo de duración de un artifact varia directamente con la duración de la perdida de paquetes.

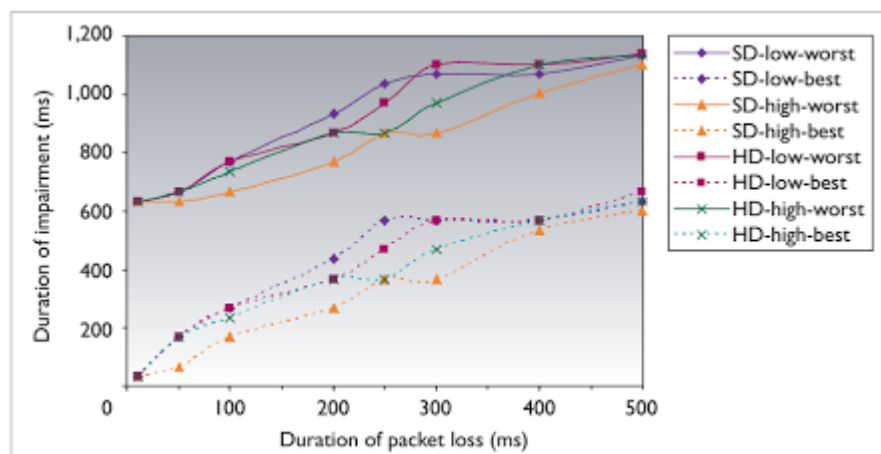


Figura 43. Duración de pérdida de paquetes versus el tiempo de duración de un problema o artifact en el video. (Greengrass J., Not All Packets Are Equal, Part 2: The Impact of Network Packet Loss on Video Quality, 2009)

Por tanto se puede concluir varias cosas (Rodrigues, A., 2013):

- Una pérdida de paquetes IP que transportan tramas I o P, dan como resultado artefactos que se extienden al resto del GOP.
- La pérdida del primer P en un GOP es a lo sumo igual que perder una trama I y puede extenderse por el GOP.
- La recepción de una trama I sin afectación puede restaurar la calidad del video después de un problema.
- Las pruebas demuestran que no hay diferencia significativa entre los daños vistos en SD comparados con HD por un tiempo equivalente de pérdida de paquetes.
- La longitud de un GOP afecta la posible duración de una recuperación de un daño.
- El impacto de daños en una trama MPEG4 es mayor porque:
 - En MPEG-4, las tramas B pueden ser utilizadas como referencia en un GOP, para mejorar la eficiencia de la compresión. Lo que significa que la pérdida de una trama B es más significativo.
 - En desarrollos donde el ancho de banda tiene mayor incidencia, el GOP es más largo para compensar la compresión. Si la longitud del GOP es de 30 tramas, entonces un problema en una trama I, causa un daño visible sobre un segundo.
 - GOP de MPEG 4 es más largo y tiene una duración más grande.

3.10. HERRAMIENTAS PARA CONSEGUIR UNA RED DE TRANSPORTE SIN PÉRDIDAS.

En la sección 3.9, se revisó claramente que el principal impedimento de las redes de transporte son las pérdidas ocasionadas por las fallas en planta externa (fibra óptica, últimas millas, redes de núcleo) y por desperfectos de equipos de núcleo o borde.

Pero es posible bajar el nivel de pérdidas a niveles requeridos por la tabla 9 utilizando las metodologías indicadas en la tabla del estudio (Evans, Filsfils, & Begen, Toward Lossless Video Transport, 2011). En esta tabla, se puede verificar que las mejores metodologías para obtener un sistema “sin perdidas” para el caso de tráfico IPV4 unicast, considerando que no se va a utilizar licenciamiento para habilitar redundancias temporales y/o espaciales en los coders/decoders, dado que implica aumentar los

costos en varios miles de dólares, es MPLS-TE FRR + FEC, es decir Fast Reroute más Ingeniería de Tráfico.

Tabla 11. Técnicas para reducir las pérdidas en la red de núcleo.

Table 1. Relative analysis of various deployment models.					
Model	QoE	Bandwidth usage*	Network complexity	Delay impact	Potential applicability
Fast convergence (FC)	Lossy; < 1 group of pictures (GoP)	Working-case: B Failure-case: B	Low	Zero	Core and aggregation
MPLS Traffic Engineering Fast Reroute (MPLS-TE FRR)	Lossy; < 1 GoP	Working-case: B; failure-case: $\geq 2 \times B$	Medium	Zero	Core
Multicast Only Fast Reroute (MoFRR)	Lossy; < 1 GoP	Working-case: B; failure-case: B	Low	Zero	Core and aggregation
FC + Forward Error Correction (FEC)	Lossless	Working-case: $(1 + O) \times B$; failure-case: $(1 + O) \times B$	Low	High	To protect against losses due to lower-layer errors only
MPLS-TE FRR + FEC	Lossless	Working-case: $(1 + O) \times B$; failure-case: $\geq 2 \times (1 + O) \times B$	Medium	High	To protect against losses due to lower-layer errors only
FC + temporal redundancy (TR)	Lossless	Working-case: $2 \times B$; failure-case: $2 \times B$	Low	High	Core
MPLS-TE FRR + TR	Lossless	Working-case: $2 \times B$; failure-case: $\geq 2 \times B$	Medium	High	Core
MoFRR + spatial redundancy (SR)	Lossless	Working-case: B; failure-case: B	Low	Low	Core and aggregation
MPLS-TE + SR	Lossless	Working-case: B Failure-case: B	High	Low	Core and aggregation

*B = video stream bandwidth, O = FEC overhead

(Evans, Filsfils, & Begen, Toward Lossless Video Transport, 2011)

Por tanto en este trabajo de titulación como criterio de diseño se utilizará FEC y MPLS-TE FRR con IGP Fast Convergence (BFD, Bidireccional Forwarding Detection).

3.10.1. Análisis de las ventajas que brinda MPLS TE FRR

La naturaleza local de FRR (Clarence & Evans, 2002) permite la rápida protección y restauración alrededor de las fallas en las redes de núcleo IP. Para los enlaces SDH/SONET, al detectar una falla en un enlace, típicamente se consigue detectar y corregir la falla en menos de 10ms, y con FRR en MPLS, cientos de LSP dentro de tuneles pueden ser conmutados a una ruta alterna en menos de 50ms. Esto es equivalente al nivel de protección provisto por MPS y APS en SDH y SONET respectivamente.

FRR está diseñado para el desarrollo de redes de núcleo en donde el número de componentes de red es típicamente bajo, pero donde las fallas en estos componentes pueden tener serios impactos en el SLA. La determinación del camino más óptimo por los túneles de respaldo de FRR en diferentes escenarios de falla, es sin embargo, un problema complejo y necesita tomar en cuenta factores que incluyen la disponibilidad de ancho de banda en los caminos potenciales de respaldo, las interdependencias y relaciones que las topologías de capas inferiores pueden tener. Para una empresa portadora, FRR provee la capacidad de significativamente mejorar su percepción de calidad de servicio en los usuarios de aplicaciones en tiempo real. Para la telefonía IP, por ejemplo, si la conectividad IP se pierde por algunos cientos de milisegundos, los usuarios pueden percibir un “clic” en la conversación. Pero con la implementación de FRR para proteger los recursos claves en la red, los proveedores de servicio pueden asegurar los enlaces que fallen y hacer imperceptibles a los usuarios de aplicaciones multimedia aun cuando los altos niveles de confiabilidad que tienen estos servicios son muy estrictos. Habilitando esta protección, mejora la multiplexación estadística mejorando la re optimización de los caminos sobre la capa IP.

3.10.2. Convergencia rápida del IGP

La optimización resulta en la reducción de los tiempos de convergencia de IGP de 10 o más segundos a 1 o 2 segundos (Clarence & Evans, 2002).

3.10.3. Forward Error Correction (FEC)

FEC utiliza la redundancia que fue añadida en el contenido transmitido, en orden de posibilitar la reconstrucción de los paquetes perdidos sin la necesidad de retransmisión. El Foro Professional-MPEG (PRO-MPEG) publicó el código de práctica (Code of Practice, COP) número 3, que recomienda un esquema basado en la aproximación definida en el RFC 2733 que especifica un mecanismo de FEC para proteger un flujo RTP contra la pérdida de paquetes RTP. En el esquema del Foro Pro-MPEG, operaciones XOR son realizadas en un bloque de paquetes arreglados en una matriz de D filas por L columnas para generar paquetes de paridad redundantes. En el receptor, la información de FEC es utilizada para recuperar las pérdidas dentro del bloque FEC.

La estructura de la matriz que forma el bloque FEC impacta en la cantidad perdidas ráfaga que puede proteger, el ancho de banda de los bits en exceso asociados con el flujo FEC y el retardo causado por la operación de procesamiento del FEC.

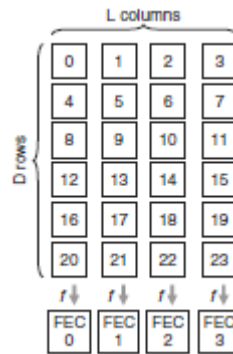


Figura 44. Foro Profesional-MPEG COP3 1D FEC (Evans & Filsfils, Video Streaming: Impact of Loss, 2007)

Es importante que los parámetros del FEC se configuren para atender a los determinados servicios de RED, tomando en cuenta las características de las capas inferiores de transporte. El esquema del Foro Pro-MPEG permite dos FEC's, uno unidimensional (one-dimension, 1D), mostrado en la figura 45 y dos dimensiones (two-dimensional, 2D) FEC, como lo mostrado en la figura 46. La información del FEC es transportada en un flujo separado (para 1D FEC) o flujos (para 2D FEC) hacia la empresa de transporte de video.

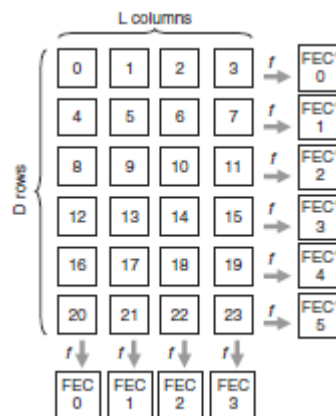


Figura 45. Foro Profesional-MPEG COP 3 2D FEC (Evans & Filsfils, Video Streaming: Impact of Loss, 2007).

One-dimensional FEC (Evans & Filsfils, Video Streaming: Impact of Loss, 2007), es capaz de recuperar desde 1 error dentro del bloque de FEC y tener un exceso de bits de $L/(L \times D)$. El esquema de dos dimensiones, es capaz de recuperar desde unos errores

ráfaga L dentro del bloque FEC y tiene un exceso de bits de $(L+D)/(LxD)$. El retardo adicional incurrido por cualquiera de los esquemas es el tiempo de transmitir $L \times D$ paquetes. Largos valores de D , reducen el exceso de bits al costo de incrementar el retardo adicional.

4. CAPÍTULO 4

DISEÑO DE UNA RED DE CONTRIBUCIÓN QUE CUMPLA CON LOS ÍNDICES DE CALIDAD PARA TRANSPORTE DE VIDEO

4.1. OBJETIVOS PARA EL DISEÑO DE RED

Como objetivos para el diseño de la red de contribución se tienen los siguientes:

Escalable, con alta disponibilidad y resiliencia a fallas. El diseño a desarrollarse es escalable, permite crecer a mediano y largo plazo. Tiene planteada una alta disponibilidad del 99.98 por ciento anual, es decir una hora y cuarenta y cinco minutos de indisponibilidad al año. Con resiliencia a fallas utilizando metodologías de ingeniería de tráfico y enrutamiento rápido.

Soporte de QoS utilizando el modelo de Servicios Diferenciados. La red en si permite garantizar la recepción, transporte y envío de paquetes con sus respectivas expectativas de manejo (retardo, variación del retardo y tasa de perdidas). Para ello:

- Garantía del manejo de los requerimientos del tráfico en las diferentes clases de SLA configurados en la red
- Uso óptimo en la red del ancho de banda disponible

Mantener el diseño lo más simple posible (KISS, keep it simple)

Utilizar y seleccionar equipo de clase portador (carrier class) y son soporte local.

Los equipos del tipo carrier class tienen un altos índices MTBF y MTTR y ofrecen soporte local en caso de compra de contratos de mantenimiento y soporte. Generalmente el tiempo de respuesta por contrato de estos fabricantes en caso de fallas en el peor de los casos es sesenta minutos desde la notificación de problemas para el primer contacto y dos horas para reemplazo en caso de cambio total del chasis (Cisco, 2017).

4.2. ALCANCE DEL DISEÑO

Se definen los siguientes alcances:

1. En referencia el trabajo realizado por (Salazar, 2014) y de la tabla 12, que analiza los tipos de proveedores de servicio portador en el Ecuador, el presente estudio evalúa un proveedor de servicio basado en IP/MPLS NG, que planea levantar una red de transporte de video sobre su infraestructura ya implementada y proveer servicios adicionales a los que ya brinda.
2. Este proveedor es ya establecido, y con cartera de clientes en Ecuador a nivel Nacional. Planea brindar transporte multimedia con calidad de servicio de 6 colas diferenciadas a sus clientes a través de una red MPLS.
3. La red MPLS funciona en IPV4 unicast.
3. Se considera un diseño de tres fases, una inicial, la otra a 18 meses y finalmente a 36 meses.
4. Este proveedor tiene actualmente una presencia en el mercado del 15% del tráfico internacional de Internet a nivel Nacional. Este valor, se toma para utilizarlo como referencia en los demás cálculos. Se utiliza como referencia el modelo de análisis del trabajo de (Salazar, 2014) en las asunciones de tráfico entre troncales nacionales. El proveedor en referencia a esta tesis no es real y solo se lo utiliza para modelizar el comportamiento del tráfico en redes de transporte.
5. Se utilizan las sedes de Quito, Guayaquil, Cuenca y Portoviejo, en donde el proveedor tiene puntos de presencia o nodos. Estos sitios tienen ya provisto climatización, energía y su respaldo, espacio de racks y seguridades tanto físicas como electrónicas.
6. Se considera que el ARCOTEL (Agencia de Regulación y Control de las Comunicaciones en Ecuador), no presentaría objeciones, dado el hecho que es solo el transporte de datos entre terminales finales y se utiliza el permiso ya existente de prestación de servicios PORTADORES. No se manipula ni se trabaja sobre los datos finales del usuario.
7. Las últimas millas locales en cada geografía, tanto enlaces interurbanos para unir puntos de presencia del proveedor de servicios, como los enlaces de última milla hacia los clientes son tercerizados a proveedores locales de transporte nacional y local.

8. Las interconexiones con las empresas portadoras que brindan últimas millas hacia clientes, llamadas desde ahora en este proyecto de titulación “terceros”, se las realiza localmente en cada geografía, mediante NNI con tecnología Ethernet y utilizando QinQ para maximizar el número de vlans en estos servicios. No se considera en el diseño las configuraciones de los NNI del lado del portador.

9. Las interconexiones con las empresas portadoras que brindan transporte interurbano, llamados terceros, se las realiza localmente en cada geografía, mediante NNI en Ethernet y con QinQ. No se considera en el diseño las configuraciones de los NNI del lado del portador.

10. El diseño pretende dar una referencia de las mejores prácticas para implementar este tipo de soluciones y brindar una referencia para estudiantes y profesionales del gremio. También la simulación pretende ser una herramienta para evaluar y analizar el comportamiento de estas redes, tanto a modo de estudio como en el proceso de diseño de nuevas soluciones.

11. El diseño contempla el equipamiento de las redes IP/MPLS, pero no se toma en cuenta las redes de acceso ni las redes de transporte interurbano. Se define que en una primera instancia, se terceriza el transporte de datos.

12. No se indican las configuraciones específicas de ninguno de los equipos en el diseño, pero en la simulación se anexan las configuraciones completas de como operaría una red de transporte nacional con QoS e Ingeniería de Tráfico.

13. Los equipos de borde, son dimensionados, para soportar el tráfico de video y soportar el crecimiento s 36 meses o más. Dado que el núcleo tiene dos equipos robustos se los reutilizará en el rediseño.

14. Los equipos CPE y los decodificadores, más los tipos de servicios ofertados también son definidos.

15. El proveedor tiene en sus servicios ofertados. Internet, MPLS VPN L3.

16. La salida a Internet del proveedor es en por Quito.

17. Las VPN L3 son solo locales a Ecuador y pueden ser interurbanas.

18. No se ofrece ninguna calidad de servicio sobre las VPN L3 y los servicios de Internet de fuerza a que operen como Best Effort (preference 0)

Tabla 12. Tabla ilustrativa de los tipos de proveedores de servicio en Ecuador

Resumen comparativo de proveedores de servicios

Característica	P.I. Basado en IP	P.S. Basado en IP	P.S. Basado en IP/MPLS 1G	P.S. Basado en IP/MPLS NG	P.S. Basado en IP/MPLS/Metro NG	P.S. Basado en DWDM/SDH
Tipo Proveedor Internet	Tier 3	Tier 3	Tier 3	Tier 2, 3	Tier 1, 2, 3	Tier 3
Cobertura	Nacional	Nacional	Nacional	Nacional, regional	Nacional, regional, mundial	Nacional
Mercado	Home, Pymes	Corporativo, Home, Pymes	Corporativo, Home, Pymes	Corporativo, Home, Pymes y proveedores de servicio	Corporativo, Pymes y proveedores de servicio	Corporativo y proveedores de servicio
Red de transporte	Equipos IP, Ethernet	Equipos IP, Ethernet	Equipos IP, Ethernet	Equipos SDH, DWDM, IP, MPLS, TDM, ATM	Equipos SDH, DWDM, IP, MPLS, MetroEthernet, TDM, ATM	Equipos SDH, DWDM, IP
Red de acceso y distribución	xDSL, GPON, WLAN, Wimax	xDSL, GPON, WLAN, Wimax	xDSL, GPON, WLAN, Wimax	xDSL, GPON, WLAN, Wimax, satelital, HFC	xDSL, GPON, WLAN, Wimax, MetroEthernet, satelital	Terceros
Servicio de internet	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Servicio de transmisión de datos	No	Sí	Sí, VPN L3, VLAN	Sí, VPN MPLS L2, L3	Sí, VPN MPLS L2, L3, ELIne, ELAN	Sí, EoSDH, EoDWDM
Servicio de televisión	No	No	No	Sí	No	No
Servicios de telefonía	No	No	No	Sí	Sí	No
Servicios de Datacenter	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No
Servicios de consultoría	No	No	No	Sí	Sí	No
Servicios de seguridad ger.	No	No	No	No	Sí	No
Servicios de colaboración	No	No	No	No	Sí	No
Tecnologías predominantes	IPv4, IPv6, GPON, Wimax, xDSL, WLAN	IPv4, IPv6, GPON, Wimax, xDSL, WLAN	IPv4, IPv6, GPON, Wimax, xDSL, WLAN	IPv4, IPv6, MPLS, DWDM, SDH, GPON, Wimax, xDSL, ATM, Frame Relay, TDM, HFC	IPv4, IPv6, MPLS, MetroEthernet, DWDM, SDH, GPON, Wimax, xDSL, ATM, Frame Relay, TDM	IPv4, IPv6, DWDM, SDH
Intenciones de invertir en red MPLS en los 3 próximos	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

(Salazar, 2014)

4.3. ESPECIFICACIONES DE LA EMPRESA PORTADORA AL QUE SE PLANTEA EL PROYECTO DE UNA RED DE VIDEO EN CONTRIBUCIÓN

En la figura 46 se muestra la configuración del proveedor de servicios que plantea implementar servicios adicionales de contribución.

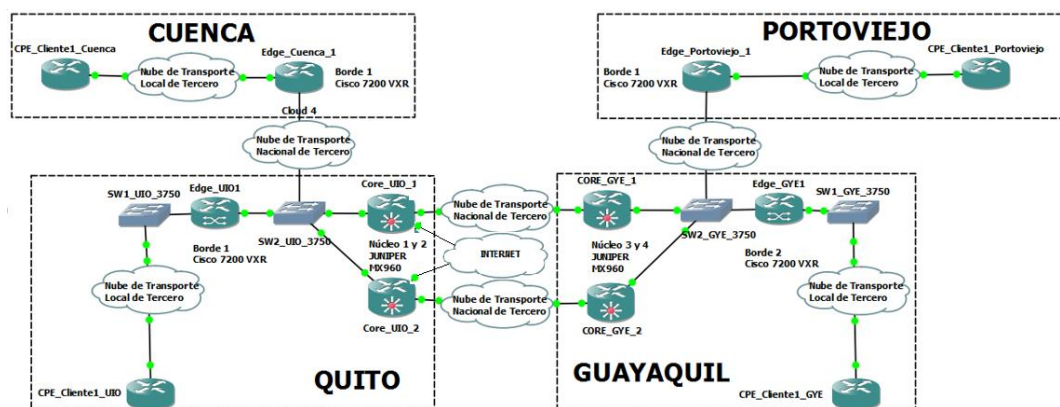


Figura 46. Topología Original del proveedor de servicio basado en IP/MPLS NG. Fuente el Autor.

Para manejar datos lo más cercanos a la realidad, la ARCTEL (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones), ofrece una serie de estadísticas del sector. Pero carece de indicadores y valores de tráfico. En trabajos anteriores de investigación, específicamente el de (Salazar, 2014), la fuente de estadísticas a ese tiempo era el CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones). Por tanto, es posible obtener una buena referencia los datos proporcionados por el CONATEL y manejar los índices de crecimiento determinado por el trabajo de (Salazar, 2014) para obtener datos cercanos a la realidad a la fecha 2015-2016.

Por tanto se tiene la siguiente tabla:

Descripción	Capacidades en Mb/s
Capacidad Internacional Ecuador Internet	88648
Capacidad Internacional Ecuador Datos	8865
Capacidad Internacional Ecuador Internet + Datos	97513
Capacidad Internacional (15%)	14627
Capacidad de VPN L3 + Internet concentrada en Guayaquil 35%	5119
Capacidad de VPN L3 + Internet concentrada en Quito 65%	9508
Capacidad Interurbana (tráfico VPN L3 + Internet entre Quito y Guayaquil)	5119
Tráfico real (75% de capacidad)	10970
Tráfico Internet (90%)	9873
Tráfico VPN nacional (30% de tráfico internacional)	3291

Tabla 13. Datos referenciales para el diseño de la capacidad de enlaces nacionales e internacionales. (Salazar, 2014)

En la tabla 13 y de los antecedentes dados en la sección 4.2 se plantea lo siguiente:

- Portador con enlaces Interurbanos Quito Guayaquil con de 6Gb/s
- No tiene un esquema de alta disponibilidad y por tanto se debe cambiar los equipos de Núcleo.
- Se debe adicionar nuevos equipos de borde para manejo de Video.
- Se debe cambiar su esquema de Calidad de Servicio e implementar seis clases de servicio.

4.4. DEFINICIONES DE LOS SERVICIOS DE VIDEO Y TIPOS DE EQUIPOS.

El servicio de transporte de video se tienen dos modalidades: permanente y el ocasional. Por definición, el portador ha definido que va a utilizar durante tres años el esquema permanente.

El tipo de video digital a recibirse por los codificadores en los puntos de presencia del cliente es video digital en banda base, estandarizado por la SMPTE (Society of Motion Picture & Television Engineers), sin compresión, con audio embebido de los siguientes tipos:

- Standar Definition-Serial Digital Interface (SD-SDI) a 270 Mb/s
- High Definition-Serial Digital Interface (HD-SDI a 1.5Gb/s o 3Gb/s

Los tipos de compresión soportados son:

MPEG-2: Solución más extendida.

MPEG-4: Solución que permite ahorrar ancho de banda.

El muestreo utilizado es 4:2:2 y 4:2:0 para la luminancia y crominancia.

Si se da el caso de transportar video ya comprimido, se soporta el estándar DVB-ASI para el transporte sobre redes IP/MPLS.

Por definición, el portador solo transporta señales en banda base que son comprimidas en sus equipos codificadores.

Utilizando lo revisado en 3.9, respecto al tipo de contenido a transportarse versus el tipo y complejidad de las tramas utilizadas, y a los tipos de codificación que se pueden configurar, se plantea la siguiente tabla resumen de los anchos de banda comercializables.

Tabla 14. Compresiones y tipos de contenido versus los anchos de banda a ser utilizados.

Típo de Imagen	Bajo Movimiento	Dinámico
Programas / Eventos	Noticias, debates políticos	Eventos deportivos, shows en vivo
Muestreo	'4:2:0	'4:2:2
Interface	SDI-SD	SDI-HD
Compresión	MPEG-2	MPEG-2/4
Ancho de Banda	6 a 10 Mb/s	10 a 80 Mb/s
FEC	1D 4 x 5 / 1D 8 x 12	1D 4 x 5 / 1D 8 x 12
Señal de entrada	1080i	1080i
Relación de aspecto	'16:9	'16:9
fps	25/30	25/30
GOP	30	30

Fuente el Autor

Las velocidades a tomarse en cuenta dentro del presupuesto de los enlaces es SDI-SD es 10 Mb/s y en los enlaces SDI-HD es 25Mb/s. Aunque es posible configurar velocidades intermedias.

4.5. ANÁLISIS DE MERCADO

Para determinar la factibilidad de realizar un proyecto relacionado con el transporte de contenido multimedia, se parten de las siguientes premisas:

Las empresas dedicadas a televisión abierta son los clientes principales de este proyecto. De este segmento se ha escogido aquellas que lo hacen en forma comercial privada y en todas las provincias del país. En todo el país existen 62 concesionarios para la difusión de video que cumplen estas características (ARCOTEL, 2016).

De estos 62, se debe determinar si existe demanda para un nuevo servicio prestado por las empresas portadoras. Para esto se evalúa mediante encuestas dirigidas los que toman las decisiones de compra en un número representativo de estas empresas:

Se utilizan las formulas del documento (Mario Herrera, 2011) para determinar el número de encuestas necesarias para determinar la demanda de este servicio:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Donde:

- N = Total de la población
- Z_{α} = 1.96 al cuadrado (si la seguridad es del 95%)
- p = proporción esperada (en este caso 5% = 0.05)
- q = 1 – p (en este caso 1-0.05 = 0.95)
- d = precisión (en su investigación use un 5%).

Según diferentes seguridades el coeficiente de Z_{α} varía, así:

- Si la seguridad Z_{α} fuese del 90% el coeficiente sería 1.645
- Si la seguridad Z_{α} fuese del 95% el coeficiente sería 1.96
- Si la seguridad Z_{α} fuese del 97.5% el coeficiente sería 2.24
- Si la seguridad Z_{α} fuese del 99% el coeficiente sería 2.576

En este caso se tiene que N es 62, Z_{α} es 1.645, y por tanto el valor de n es de 28.35 de lo cual se obtiene que se necesitan 28 encuestas.

4.6. ESTUDIO DE MERCADO PARA DETERMINAR DEMANDA RELATIVA AL PROYECTO RED DE CONTRIBUCIÓN

El mercado actual de las telecomunicaciones en el Ecuador ha sufrido muchos cambios y sigue en continua evolución. Una muestra de ellos es el cambio de las entidades de regulación del sector de las telecomunicaciones (Diario El Comercio, 2014), la creación de nuevas empresas productoras de fibra (Diario El Telégrafo, 2016), la llegada o arribo a telepuertos locales de cables submarinos (Diario El Telégrafo, 2015). Pero dos hitos son los más impactantes, el primero, la crisis económica que se presenta en el año 2016 (Diario El Telégrafo, 2016) y la proximidad del apagón analógico (Vicepresidencia de la República del Ecuador, 2016). Tomando en cuenta estos acontecimientos, y mirando la posible necesidad de una red de transporte para Contribución en el mercado Ecuatoriano, se proponen las siguientes premisas para el análisis de la demanda:

- Empresas de televisión abierta comercial en las provincias de Pichincha, Guayas, Azuay Manabí.
- El objetivo de este análisis es el 15% del mercado

- Se deja las estaciones de televisión cableada o satelital comercial y las estaciones de televisión abierta comunitaria, porque la mayoría de ellas solo tienen presencia local y su penetración o cobertura es pequeña sin presencia nacional. (ARCOTEL, 2016).
- Las empresas de televisión a nivel nacional tienen como premisa conectar sus estaciones regionales para compartir contenido, dado que regionalmente mantienen su propia programación. La forma de interconectarse actualmente es mediante la contratación de enlaces analógicos/digitales terrestres o el uso de enlaces satelitales. A continuación las empresas encuestadas:

Tabla 15. Listado de clientes evaluados.

Nombre Estación
CANAL INTIMAS
RED TV ECUADOR
CADENA ECUATORIANA DE TELEVISION
CANAL UNO
CAPITAL TV
TELEAMAZONAS
CALIDAD TV
TELECUECA
TELEVISION DEL PACIFICO
TELESUCESOS
CORPORACION ECUATORIANA DE TELEVISION
TV. MANABITA CANAL 30
MANAVISION CANAL 9
ABC TV
COSTANERA TV (RTU)
TELEVICENTRO -TVC (CANAL 5 VHF)
CANAL 23 UHF TELEANDINA
46 UHF ABC (RTU)
TV+ (TEVEMAS)
CARAVANA TELEVISION
CANAL UNO Guayaquil
OROMAR
RED TELESISTEMA (R.T.S)
CAMEJA TV
UCSG TELEVISION
TELERAMA
TELEVISION SATELITAL
ARPEGGIO

(ARCOTEL, 2016)

Las preguntas planteadas son:

- Le interesaría cambiar su actual enlace auxiliar interurbano de transporte a un enlace tercerizado y que este le provea un SLA de mutuo acuerdo.
Si. No.
- ¿Le gustaría que su proveedor de enlace auxiliar interurbano de transporte le provea con al menos cuatro (4) colas de calidad de servicio?
Si. No.
- ¿Le gustaría que su proveedor de enlace auxiliar interurbano de transporte le provea con un sistema de monitoreo del servicio, al igual que reportes semanales del servicio y sus índices de calidad?

Si. No.

- Como define el servicio de atención al cliente y monitoreo de su actual proveedor (de igual forma evalúe si tiene un grupo intra office que se encarga de este proceso).

Aceptable. Malo.

- ¿Usted considera alto o bajo el valor que cancela mensualmente por los enlaces interurbanos auxiliares?

Alto.

Bajo.

Secure | <https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScfQqZI2Dci5uuJynas9OM4BQ2ImkqkzOH8OyDIYpHJag0vGw/viewform>

ENCUESTA

**Required*

NOMBRE Y APELLIDO *

Your answer

EMPRESA *

Your answer

1. Le interesaría cambiar su actual enlace auxiliar interurbano de transporte a un enlace tercerizado y que este le provea un SLA de mutuo acuerdo. *

☐ SI

☐ NO

2. Le gustaría que su proveedor de enlace auxiliar interurbano de transporte le provea con al menos cuatro (4) colas de calidad de servicio? *

☐ SI

☐ NO

3. Le gustaría que su proveedor de enlace auxiliar interurbano de transporte le provea con un sistema de monitoreo del servicio, al igual que reportes semanales del servicio y sus índices de calidad? *

☐ SI

☐ NO

4. Como define el servicio de atención al cliente y monitoreo de su actual proveedor (de igual forma evalúe si tiene un grupo intra office que se encarga de este proceso). *

☐ ACEPTABLE

☐ MALO

5. Usted considera alto o bajo el valor que cancela mensualmente por los enlaces interurbanos auxiliares? *

☐ ALTO

☐ BAJO

Figura 47. Encuestas realizadas en Google Docs. Fuente el Autor.

De las cuales la tabulación de los datos muestra lo siguiente:

Tabla 16. Tabulación de los resultados de la encuesta.

PREGUNTA	SI ACEPTABLE ALTO	NO MALO BAJO	TOTAL	SI%	NO%	ACEPTABLE% ALTO %	MALO% BAJO%
1	17	11	28	60.71	39.29		
2	18	10	28	64.29	35.71		
3	16	12	28	57.14	42.86		
4	9	19	28			32.14	67.86
5	21	7	28			75.00	25.00
TOTAL				60.71	39.29		

Fuente, el autor.

Se tiene un promedio de aceptación del 60.71%, consideran malo el servicio de atención al cliente un 67.86% y un 75% consideran muy alto el costo de los servicios de transmisión. Por tanto se puede deducir que, ofreciendo un buen servicio con calidad de servicio y un sistema de monitoreo eficiente se puede plantear la implementación de este proyecto.

4.7. DEFINICIÓN DE LOS ANCHOS DE BANDA DE LOS CIRCUITOS INTERURBANOS QUE MANEJA EL PROVEEDOR DE TRANSPORTE ANTES DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE VIDEO.

En la tabla se verifica los anchos de banda dados por los datos obtenidos de la anterior Superintendencia de Telecomunicaciones y por la referencia del trabajo de (Salazar, 2014)

Tabla 17. Tráficos de Internet, VPN L3 y anchos de banda previstos para video.

Descripción	Capacidades en Mb/s
Capacidad Internacional Ecuador Internet (marzo 2012)	88648
Capacidad Internacional Ecuador Datos (10% Capacidad Internet)	8865
Capacidad Internacional Ecuador Internet + Datos	97513
Capacidad Internacional (15%)	14627
Tráfico real (75% de capacidad)	10970
Capacidad de VPN L3 + Internet concentrada en Guayaquil 35%	3840
Capacidad de VPN L3 + Internet concentrada en Quito 65%	7131
Capacidad Interurbana (tráfico VPN L3 + Internet entre Quito y Guayaquil)	3840
Tráfico VPN nacional (15% del Mercado de video al final de los 3 años)	300

Fuente el Autor y (Salazar, 2014)

4.8. DEFINICIÓN DE EQUIPOS A UTILIZARSE EN NUEVO DISEÑO

Hay dos equipos de dos distintos fabricantes que pueden adaptarse a los requerimientos del diseño. Los fabricantes comparten facilidades y funcionalidades, ver tabla 18

Tabla 18. Comparación de equipos con sus configuraciones básicas y factores de descuento.

Funcionalidades	Fabricante/modelo	
	ASR 9001 Cisco	MX 80 Juniper
System capacity	240 Gbps	80Gbps
Slots per Chassis	Fixed 4x10GE 2 Modular Port Adapters	4 fixed 10GbE + 32 MIC slots
Stándar Price per chassis and all fixed ports enabled	26K	26k
Factor de descuento (%) ²⁸	86	86

Fuente el Autor.

El principal factor a tomar en cuenta es la capacidad del reenvío/forwardng, en donde claramente el fabricante Cisco rompe con cualquier métrica (dado que en precios y factor de descuento de venta, son casi iguales, al igual que la densidad de puertos y tarjetas de línea).

Por tanto este trabajo de titulación utiliza como equipos de borde los ASR9001 del fabricante Cisco.

Referente a los switches se tiene lo indicado en la tabla 19

Tabla 19. Comparación de Switches carrier class.

Funcionalidades	Fabricante/modelo	
	3600CX Tier I Cisco	EX4300-32F-DC
Specifications	ME3600X 24CX bundle for Right To Use License model	EX4300, 32-port 1000BaseX SFP , 4x10GBaseX SFP+, 2x40GBaseX QSFP+ and 550W DC PS
Standar Price chassis	4.2k	2.7k
Factor de descuento (%)	86	86

Fuente, el Autor

En este caso se selecciona los switches Juniper por precio y densidad de puertos.

4.9. DEFINICIÓN DE ANCHOS DE BANDA DE ÚLTIMA MILLA A UTILIZARSE EN NUEVO DISEÑO

En la tabla 20, se tienen los precios referenciales de tres proveedores de transporte local, con presencia Nacional:

²⁸ Los factores de descuento se ofrecen a cada comprador, de acuerdo a su volumen de compras, y presencia en el mercado. Los valores aquí indicados son referenciales, pero están de acuerdo a las tendencias de los operadores locales.

Tabla 20. Costos referenciales de tres proveedores locales nacionales.

Anchos de banda Mb/s	Telefónica	Puntonet	Claro/por Mega	
8	880	350	60	480
10	1100	450	60	600
20	1900	660	55	1100
30	2700	740	55	1650
40	3400	920	50	2000
50	4000	1150	50	2500
100	7000	2450	40	4000
150	10500	2700	40	6000

Fuente, el Autor²⁹

Por los valores indicados, la mejor oferta para el enlace principal la tiene el proveedor Claro que a la vez tiene un centro de atención al cliente 24X7. Y para enlace de respaldo la tiene Puntonet.

Tabla 21. Costos referenciales de tres proveedores nacionales Quito-Guayaquil

Proveedor Nacional Quito - Guayaquil	Costo de Mb/dólares
Telconet	10
Claro	40
CNT	20

Fuente, el Autor³⁰

Se utilizan a los proveedores Telconet y Claro para obtener redundancia y alta disponibilidad.

4.10. DEFINICIÓN DE EQUIPOS Y ENLACES A UTILIZARSE EN LA SEDE DEL CLIENTE PARA LA TRANSMISIÓN DE VIDEO

En la figura 48, se tiene el diagrama de equipos y conexiones de la solución a implementarse a nivel de clientes finales:

²⁹ El ingeniero Ismael Suarez (Suarez, 2016), proveyó esta información en base a su experiencia personal.

³⁰ El ingeniero Andrés Moscoso (Moscoso, 2016), proveyó esta información en base a su experiencia personal.

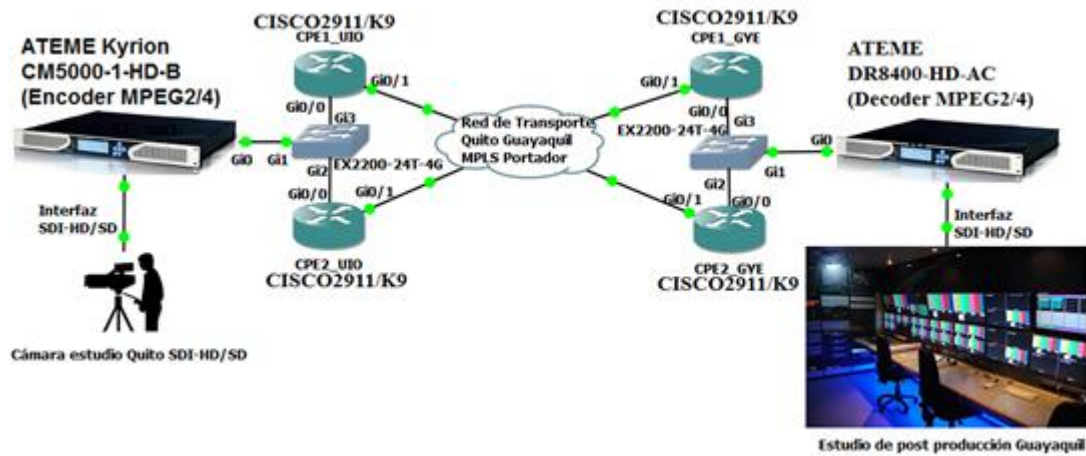


Figura 48. Solución de equipos y conexiones clientes finales. Fuente el Autor

De la Figura 48, se tiene la siguiente configuración en equipos y costos total de la solución considerada como el paquete 1 de servicios de video solución administrada, ver tabla 22:

Tabla 22. Listado de equipos terminales y sus precios para la solución de video de alta disponibilidad

Cisco 2911					
Vendor	Vendor Part#	Description	Count	Unit Price	Extended Price
Cisco	CISCO2911/K9	Cisco 2911w/3 GE,4 EHWIC,2 DSP,1 SM,256MB CF,512MB DRAM,IPB	4	\$ 808.50	\$ 3,234.00
Cisco	PWR-2911-AC	Cisco 2911AC Power Supply	4	\$ 120.00	\$ 480.00
Cisco	MEM-CF-256MB	256MB Compact Flash for Cisco 1900, 2900, 3900 ISR (Default)	4	\$ 0.00	\$ 0.00
Cisco	SL-29-DATA-K9	Data License for Cisco 2901-2951	4	\$ 0.00	\$ 0.00
Cisco	S29UK9-15403M	Cisco 2901-2921IOS UNIVERSAL	4	\$ 0.00	\$ 0.00
Cisco	SL-29-IPB-K9	IP Base License for Cisco 2901-2951	4	\$ 0.00	\$ 0.00
Cisco	MEM-2900-512MB-DEF	512MB DRAM for Cisco 2901-2921ISR (Default)	4	\$ 0.00	\$ 0.00
Juniper EX2200					
Vendor	Vendor Part#	Description	Count	Unit Price	Extended Price
Juniper	EX2200-24T-4G	EX2200, 24-PORT 10/100/1000 BASE-T WITH 4 SFP UPLINK PORTS AND AC INTERNAL POWER SUPPLY	2	\$ 623.75	\$ 1,247.50
Ateme DR8400					
Vendor	Vendor Part#	Description	Count	Unit Price	Extended Price
Ateme	DR8400-HD-AC	ATEME DR8400 (Decoder MPEG2/4)	1	7500	\$ 7,500.00
Ateme CM 5000					
Vendor	Vendor Part#	Description	Count	Unit Price	Extended Price
Ateme	CM5000-1-HD-B	ATEME Kyrion CM 5000 (Encoder MPEG2/4)	1	10,880	\$ 10,880.00
Ateme	CM5000-FEC	FEC Option	1	200	\$ 200.00
TOTAL FOB MIAMI					\$ 23,541.50
TOTAL Ecuador price (40% + FOB Mia)					\$ 32,958.10

Fuente el Autor

En lo relativo a enlaces, se considera doble enlace en cada sitio funcionando en alta disponibilidad con HSRP (Hot Standby Routing Protocol) con BGP. En la tabla 23 se observa el costo de enlaces locales hacia cada punto de presencia considerando doble proveedor.

Tabla 23. Costos de proveedores de última milla locales.

	Capacidad 10Mb/s (SD)	Capacidad 20Mb/s (HD)
Enlace principal	\$ 600.00	\$ 1,100.00
Enlace respaldo	\$ 450.00	\$ 660.00

Fuente el Autor

4.11.DEFINICIÓN DE EQUIPOS Y ENLACES A UTILIZARSE EN LA RED DE BORDE PARA LA TRANSMISIÓN DE VIDEO

A continuación el listado de equipos de Borde, más repuestos y contingencias en caso de fallas. En la tabla su muestra el costo de cada equipo y un descuento del vendedor del 86%:

Tabla 24. Listado de equipos y costos de los equipos de borde.

Tabla total resumen de equipos y precios					
Part	Description	Qty	Unit	Subtotal	Vendor
ASR-9001	ASR 9001 Chassis	8	\$ 9,648.00	\$ 77,184.00	Cisco
ASR-9001-FAN	ASR 9001 Fan Tray	8	\$ 504.00	\$ 4,032.00	Cisco
A9K-750W-DC	ASR 9000 750W DC Power Supply for ASR-9001	12	\$ 324.00	\$ 3,888.00	Cisco
ASR-9001-TRAY	ASR 9001 Cable Management Tray	4	\$ -	\$ -	Cisco
A9K-9001-MPA-FILR	ASR 9001 MPA Filler	4	\$ -	\$ -	Cisco
ASR-9001-2P-KIT	ASR 9001 2 Post Mounting Kit	4	\$ -	\$ -	Cisco
XR-A9K-PXK9-04.02	Cisco IOS XR IP/MPLS Core Software 3DES for RSP440	4	\$ 2,700.00	\$ 10,800.00	Cisco
A9K-MPA-4X10GE=	ASR 9000 4-port 10GE Modular Port Adapter (spare)	4	\$ 12,250.00	\$ 49,000.00	Cisco
10GSFP+E-LR	10G BASE-LR SFP+ ETHERNET 1310nm	16	\$ 84.97	\$ 1,359.52	Cisco
EX4300-32F-DC	EX4300, 32-port 1000BaseX SFP , 4x10GBaseX SFP+, 2x40GBaseX QSFP+ and 550W DC PS	16	\$ 2,589.30	\$ 41,428.80	Juniper
1000SFP055	OPTICS, 1G SFP SX	16	\$ 12.85	\$ 205.60	Champion One
10GSFP+E-LR	10G BASE-LR SFP+ ETHERNET 1310nm	40	\$ 84.97	\$ 3,398.80	Juniper
Precio FOB MIAMI				\$ 191,296.72	
PRECIO ECUADOR				\$ 267,815.41	

Fuente el Autor

En la tabla siguientes costos y capacidades de los enlaces en troncales Quito - Guayaquil:

Tabla 25.Opex con los costos de los enlaces Locales e Interurbanos de troncal.

Mes	0	7	12	24	36
Número de clientes de video	0	1	2	6	10
Número de enlaces SD	0	1	2	6	10
Número de enlace HD	0	1	2	6	10
Costo referencial Video última milla local principal dedicado HD 20Mb/s	1100	1100	880	704	563.2
Costo referencial Video última milla local respaldo dedicado HD 20Mb/s	660	660	528	422.4	337.92
Costo referencial Video última milla local principal dedicado SD 10Mb/s	600	600	480	384	307.2
Costo referencial Video última milla local respaldo dedicado SD 10Mb/s	450	450	360	288	230.4
Costo referencial Video TRONCAL interurbana/Mbps PRINCIPAL	40	40	32	25.6	20.48
Costo referencial Video TRONCAL interurbana/Mbps BACKUP	10	10	8	6.4	5.12
Costo referencial instalación UM	100	100	100	100	100
Costo referencial de instalación UM	0	400	0	0	0
Costo total de los enlaces locales por cliente	0.00	2810.00	4496.00	10790.40	14387.20
Costo total de la capacidad interurbana por ancho de banda	0.00	1500.00	2400.00	5760.00	7680.00
Total egresos de enlaces locales e interurbanos	0.00	4710.00	6896.00	16550.40	22067.20

Fuente el Autor

4.12.DEFINICIÓN DEL PRECIO DE LOS SERVICIOS A COBRARSE Y PLAN DE MARKETING PARA CONSEGUIR LA PENETRACIÓN DEL QUINCE PORCIENTO DEL MERCADO REQUERIDA POR EL DISEÑO

Los ítems fundamentales para que contemplan el plan de marketing son:

- 62 concesionarios en el mercado Ecuatoriano. Ver sección 4.7.
- Objetivo 15% del Mercado
- Tráfico HD 20M
- Tráfico SD 10M
- 15% equivale a 10 concesionarios
- Se estima que cada uno de los 10 concesionarios contratará 1 enlace SD y 1 enlace HD
- Se considera que el primer año es el más complicado para poder vender servicios y por tanto se deja el 3% como probable.

Tabla 26. Plan de marketing para conseguir 15% del mercado de Difusión

Tiempo	Penetración	# Concesionarios	Mb/s de video	Mb/s de video incremental
Primer año	3%	2	60	60
Segundo año	6%	4	120	180
Tercer año	6%	4	120	300

Fuente el Autor

También se anexan los precios a cobrarse, que son estándar en el mercado de contribución (Lemus, 2016):

Tabla 27. Precios a Cobrarse en el servicio de transporte de Video.

Calidad	Ancho de Banda	Precio	Característica
HD	20Mb/s	\$5,000.00	Sin protección
HD	40Mb/s	\$7,000.00	Enlace y equipos protegidos
SD	10Mb/s	\$4,000.00	Sin protección
SD	6Mb/s	\$6,000.00	Enlace y equipos protegidos

Fuente el Autor.

4.13. CALIDAD DE SERVICIO IMPLEMENTADA EN LOS EQUIPOS DE BORDE Y CORE

La sección 2.19 habla de los servicios diferenciados, pero es necesario centrar las definiciones en el diseño de la red de transporte de video.

Para aplicar un QoS a una red de Núcleo y Borde se deben definir tres pasos:

- Clasificar el Tráfico

- Definir un Comportamiento o Tratamiento
- Aplicarlo sobre una Interfaz

En la figura 49 se visualiza la aplicación de QoS en una red de transporte:

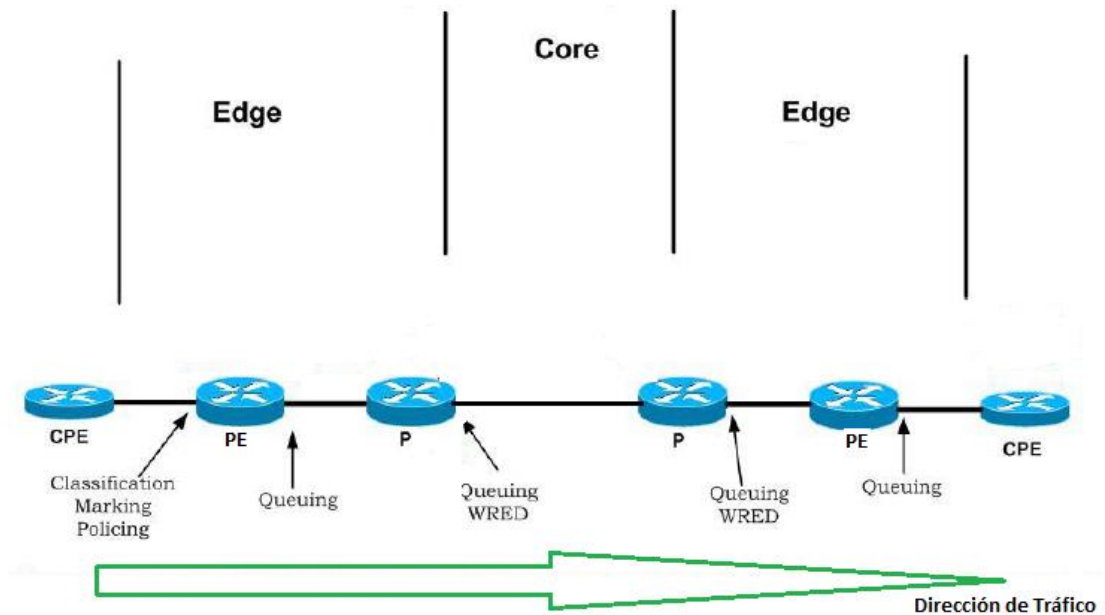


Figura 49. Aplicación de QoS en una red de Transporte. Fuente el Autor

En el segmento de núcleo se definen las siguientes configuraciones:

```

CLASIFICACIÓN

class-map match-any GX-EF
match mpls experimental topmost 4
match mpls experimental topmost 5
match mpls experimental topmost 6
match mpls experimental topmost 7
match ip precedence 4
match ip precedence 5
match ip precedence 6
match ip precedence 7
class-map match-any GX-AF
match mpls experimental topmost 1
match mpls experimental topmost 2
match mpls experimental topmost 3
match ip precedence 1
match ip precedence 2
match ip precedence 3
class-map match-any GX-BE
match mpls experimental topmost 0
match ip precedence 0

COMPORTAMIENTO

policy-map GX-CISCO-CORE
class GX-EF
priority percent 75
class GX-AF
bandwidth percent 23
class GX-BE
bandwidth percent 1

APLICACIÓN

interface $TYPE $INTERFACE
service-policy output GX-CISCO-CORE

```

Figura 50. Configuraciones de QoS aplicadas en Núcleo. Fuente el Autor.

En el segmento de borde se definen las siguientes configuraciones:

```
CLASIFICACIÓN
policy-map CISCO-SCHEDULER-$CUSTOMER-$INTERFACE
class CISCO-CUST-EF
priority percent $PERCENT
class CISCO-CUST-AF
bandwidth percent $PERCENT
random-detect
random-detect precedence 2 1 2
class CISCO-CUST-BE
bandwidth percent $PERCENT
random-detect
random-detect precedence 0 1 2

COMPORTAMIENTO

policy-map CISCO-POLICY-$CUSTOMER-$INTERFACE
class class-default
  police cir $SHAPE-AVERAGE
  conform-action transmit
  exceed-action drop

policy-map CISCO-CUST-SHAPER-$CUSTOMER-POLICY-MAP-NAME-o
class class-default
shape average $SHAPE-AVERAGE
service-policy output CISCO-SCHEDULER-$CUSTOMER-$INTERFACE

APLICACIÓN

interface $INTERFACE
service-policy output CISCO-CUST-SHAPER-$CUSTOMER-POLICY-MAP-NAME-o
service-policy input CISCO-POLICY-$CUSTOMER-$INTERFACE
```

Figura 51. Configuraciones de QoS aplicadas en Borde. Fuente el Autor.

Y en el CPE, se debe configurar lo siguiente:

```
CLASIFICACIÓN

interface $INTERFACE_LAN
service-policy input REMARK

COMPORTAMIENTO

policy-map SHAPER
class class-default
shape average $SHAPE-AVERAGE
service-policy output Shaper_Nest

policy-map Shaper_Nest
class video
priority VIDEO_RATE

APLICACIÓN

interface $INTERFACE_WAN
service-policy output SHAPER
```

Figura 52. Configuraciones de QoS aplicadas en acceso CPE. Fuente el Autor

4.14. RESUMEN DE DISEÑO

Los pasos dados para el diseño fueron:

Definir el ancho de banda consumido en la troncal Quito y Guayaquil que utiliza el portador con sus enlaces de Internet y VPN L3. La troncal Quito – Guayaquil no supera más del 75% de utilización, preservando las características de Retardo/variación del retardo. Sección 4.8.

Definir el ancho de banda de los 10 clientes de difusión que corresponden al 15% de penetración del mercado. De lo encontrado, este tráfico corresponde menos del 2% comparado con el tráfico original. Sección 4.13.

Definir los equipos en el acceso, tanto los cpe, switches, como los codificadores y decodificadores. Sección 4.11.

Definir los equipos de borde, routers y switches y sus interfaces. Sección 4.12.

Se anexa el gráfico del diseño final. Ver figura 53.

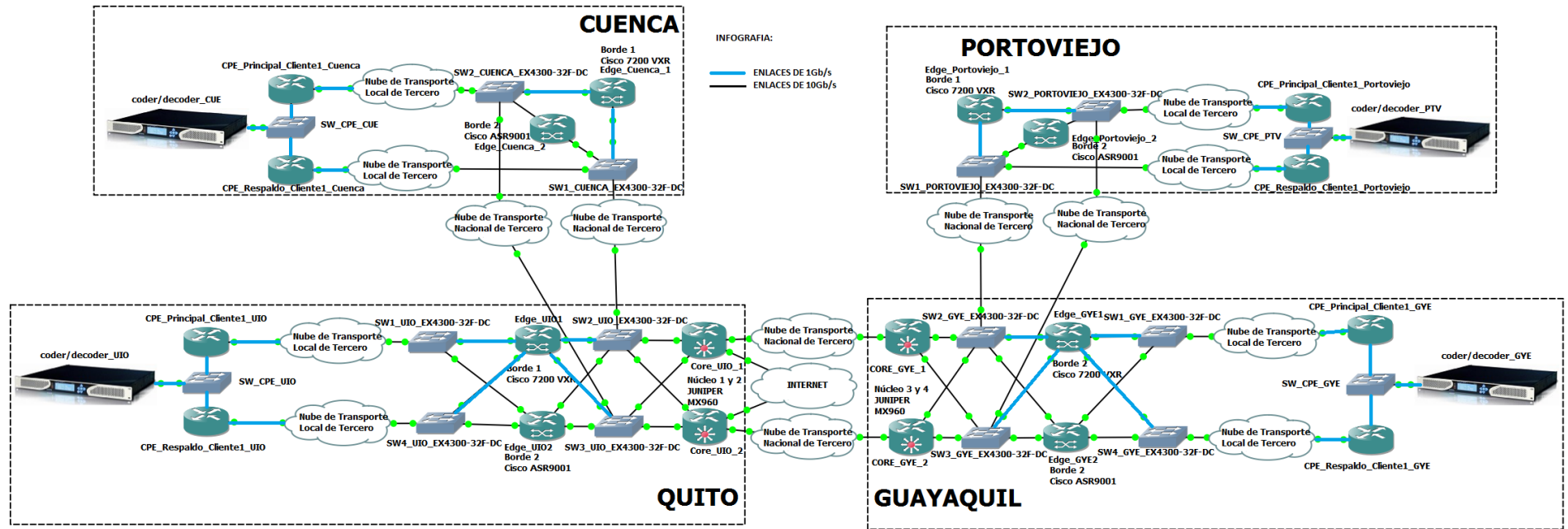


Figura 53. Diseño final. Fuente el Autor

5. CAPÍTULO 5

FACTIBILIDAD TÉCNICA-ECONÓMICA PARA IMPLEMENTAR UNA RED DE TRANSPORTE DE VIDEO EN TIEMPO REAL CON QOS

El objetivo del análisis técnico económico es determinar el valor total de la inversión para la construcción de la red de transporte en contribución y conocer el momento en el que el proyecto empieza a ser económicamente rentable y se recupera la inversión inicial. Los inversionistas prestan mucha atención a los datos que este análisis brinda para determinar si es conveniente o no colocar su dinero en este emprendimiento.

5.1. INDICADORES ECONÓMICOS DE LOS PROYECTOS DE TELECOMUNICACIONES

En finanzas se conoce como indicadores de proyectos de telecomunicaciones a aquellos índices que nos ayudan a tomar decisiones sobre la rentabilidad o no de un proyecto. Uno de los modelos más utilizados es el Costo Promedio Ponderado de Capital (WAAC³¹).

5.1.1. Costo Promedio Ponderado de Capital

El WACC es en sí, la rentabilidad que los inversores de capital recibirían como mínimo si en vez de invertir en el proyecto o compañía lo hiciesen en otra parte (por ejemplo, en una inversión en pólizas de acumulación).

EL WACC se lo expresa en forma de porcentaje y se lo puede representar por la siguiente fórmula:

$$r_{wacc} = \%E * [rf + \beta * m + C] + \%D * I * (1 - T)$$

Donde:

%E y %D: Son el porcentaje en capital %Equity y en Deuda %Debt que constituyen una empresa. En el análisis actual se considera para análisis los tres casos posibles en los que la empresa que va a implementar la red de contribución tiene: 30% en activos - 70% en deuda, 70% en activos – 30% en deuda y 50/50% activos/deuda.

³¹ WAAC: Weighted Average Cost of Capital

rf: Es la tasa libre de riesgo o también llamada tasa de los Bonos del Tesoro de los Estados Unidos. Consultada a 3 de noviembre del 2016 está en 2.6 (Costarica, 2016)

B: Índice de la sensibilidad de la rentabilidad un negocio particular en una determinada línea de negocios. Se toma el valor de 0.67

m: Market Premium, corresponde a la diferencia entre la rentabilidad de la cartera del mercado de la línea de negocios y la tasa sin riesgo. Se toma el valor de 6.63% (WACC EXPERT, 2016)

C: Tasa de riesgo país. Se toma el valor 7,2% (WACC EXPERT, 2016)

I: Interés al que se ha contratado la deuda. Se toma el valor 8.38% ³²

T: Escudos fiscales. Se toma el valor de 35%.³³

Por tanto el indicador será:

$$r_{wacc} = \%E * [rf + \beta * m + C] + \%D * I * (1 - T)$$

$$r_{wacc} = \%E * [0.026 + 0.67 * 0.0663 + 0.072] + \%D * 0.0838 * (1 - 0.35)$$

5.1.2. Análisis del WACC resultante

En la tabla 28 se detallan los valores obtenidos

Tabla 28. Valor del WACC calculado considerando diferentes condiciones de inversión

CALCULO DEL WACC BAJO DIFERENTES CONDICIONES				
Valores	Simbolos	Deuda>Capital	Deuda<Capital	Deuda=Capital
% Deuda	%D	70.00	30.00	50.00
% Capital	%E	30.00	70.00	50.00
Tasa libre de riesgo	rf	2.60	2.60	2.60
Market Premium (Telecomunicaciones)	%m	6.63	6.63	6.63
Tasa Riesgo País	%C	7.20	7.20	7.20
Tasa Pactada deuda (interés anual)	%I	8.38	8.38	8.38
Sensibilidad	β	0.67	0.67	0.67
Escudos Fiscales	%T	35.00	35.00	35.00
Tasa inversión Telecomunicaciones	rwacc (%)	11.60	8.09	9.84

Fuente el Autor

³² Fuente: https://contenido.bce.fin.ec/resumen_ticker.php?ticker_value=activa

³³ Fuente: Presentación, Definiciones de Costeo, Instructor Fredy Lemus. Costeo de Redes de Telecomunicaciones. Febrero 2016.

De las tres columnas es importante resaltar el mayor valor que correspondiente a 11.60%. En cualquier proyecto de inversión, para ser atractivo a los inversionistas es necesario tomar el mayor valor de los tres. Por tanto, la inversión en este proyecto es viable si el rendimiento para los inversionistas es mayor al 11.60%.

5.1.3. Estudio financiero de los costos asociados al proyecto de red de contribución

Es necesario determinar los costos de la implementación y operación de la red de contribución. Para esto se hace uso de la figura 48, donde se aprecian los equipos a ubicarse en la sede del cliente, las últimas millas locales en cada sede del proveedor y los enlaces de troncal entre ciudades.

El análisis de los costos se los abordará desde el punto de vista financiero (Noori & Radford, 2000):

OPEX: Gastos en actividades o insumos que no se convierten en activos fijos. Y a su vez el OPEX puede dividirse en **eventual** o **recurrente**

OPEX Eventual: aquel en el que se incurre una sola vez. Por ejemplo instalaciones, cables, conectores.

OPEX Recurrente: aquel que se incurre periódicamente. Por ejemplo mantenimientos, arriendos.

CAPEX: Corresponde a las inversiones que se convierten en activos fijos y generalmente son el equipamiento necesario para la provisión de un servicio.

En la tabla 29, se tienen los valores mensuales de OPEX que comprenden el proyecto:

Tabla 29. Valores de OPEX del proyecto; se muestra solo los meses en los que hay costos por instalaciones o puestas en marcha de clientes.

Ope			Ope							
Meses			0	7	10	13	19	25	31	36
11	Número de clientes de video	Forecast	0	1	2	4	6	8	10	10
12	Número de enlaces SD	Forecast	0	1	2	4	6	8	10	10
13	Número de enlace HD	Forecast	0	1	2	4	6	8	10	10
14	Costo referencial Video última milla local principal dedicado HD 20Mbps	imes	100	100	100	800	800	704	704	563.2
15	Costo referencial Video última milla local respaldo dedicado HD 20Mbps	imes	650	650	650	528	528	422.4	422.4	337.82
16	Costo referencial Video última milla local principal dedicado SD 10Mbps	imes	600	600	600	480	480	384	384	307.2
17	Costo referencial Video última milla local respaldo dedicado SD 10Mbps	imes	450	450	450	360	360	288	288	230.4
18	Costo referencial Video TRONCAL InterurbanaMbps PRINCIPAL	imes	40	40	40	32	32	25.6	25.6	20.48
19	Costo referencial Video TRONCAL InterurbanaMbps BACKUP	imes	10	10	10	8	8	6.4	6.4	5.12
20	Costo referencial instalación UM	Instalación	100	100	100	100	100	100	100	100
21	Costo referencial de instalación UM	Instalación	0	400	400	400	800	800	800	0
22	Costo total de los enlaces locales por cliente	imes	0.00	2810.00	5620.00	8992.00	13488.00	14387.20	17394.00	14387.20
23	Costo total de la capacidad interurbana por ancho de banda	imes	0.00	1500.00	3000.00	4800.00	7200.00	7680.00	9600.00	7680.00
24	Total egresos de enlaces locales e interurbanos		0.00	4710.00	9020.00	14192.00	21488.00	22867.20	28384.00	22067.20

Fuente el Autor

Los numerales 11 al 13, tratan sobre el plan de marketing desarrollado en la sección 4.12 tabla 26. El 15% del mercado de difusores corresponde a los 10 clientes al final de los tres años de evaluación. Y cada uno de estos 10 clientes contrata la transmisión de un canal SD y de uno HD. Dada la criticidad del servicio, los enlaces SD/HD son protegidos (tienen un esquema principal/respaldo, uno transmite y el otro espera en caso de falla). Estos costos son recurrentes mensualmente, numerales 14 al 17. En los numerales 20 y 21 están los costos eventuales de instalación de las últimas millas locales. Los numerales 18 y 19 corresponden al costo mensual de transporte interurbano de capacidad en megas de video. En los numerales 22 y 23 suman las columnas para contabilizar los costos de los servicios por mes. Finalmente hay que aclarar un factor o índice de disminución de precio que se negocia anualmente con los proveedores de última milla y generalmente es del 8 al 10%. En este proyecto se considera que los proveedores manejan un factor del 8% de disminución anual de sus costos. Ver la tabla 32, numeral 1.

En la tabla 30, se tienen los valores de CAPEX mensuales considerados:

Tabla 30. Valores de CAPEX del proyecto; se muestra solo los meses en los que hay costos por puestas en marcha de clientes.

Capes										
Meses			0	7	10	13	19	25	31	36
32	Número de servicios de video		0	1	1	2	2	2	2	0
34	Costo unitario CPE • Codecs		32958.1	32958.1	32958.1	32958.1	32958.1	32958.1	32958.1	32958.1
35	Costo red MPLS/Metro		267815.41	0	0	0	0	0	0	0
36	Costo CPEs		0	32958.1	32958.1	65916.2	65916.2	65916.2	65916.2	0
37	Total Capex		267815	32958	32958	65916	65916	65916	65916	0

Fuente el Autor

En el numeral 32 se tienen los meses en los que hay instalaciones de nuevos servicios.

En el numeral 34 consta el costo eventual del equipamiento a colocarse en cada uno de los sitios del cliente. En el numeral 35, se considera el costo eventual asociado a los equipos de borde a comprarse para la instalación y puesta en marcha de la red de transporte.

Con esto se completa el análisis de los costos asociados a este proyecto

5.1.4. Estudio financiero de los precios del transporte y utilización de la red

En la tabla 31, se analizan los precios de los servicios de transporte.

Tabla 31. Precios de los servicios de transporte

25	Ajuste Anual de PRECIOS	-20%								
		Ingresos	Ingresos		Ingresos		Ingresos			
		Meses	0	7	10	13	19	25	31	36
26	Precio de Servicio Video Quito-Guayaquil HD	7000	7000	7000	7000	5600	5600	4480	4480	4480
27	Precio de Servicio de Video Quito-Guayaquil SD	6000	6000	6000	6000	4800	4800	3840	3840	3840
28	Precio de Instalación Nuevo servicio	1000	1000	1000	1000	800	800	640	640	640
29	Ingresos por Servicio de video Quito-Guayaquil		0	13000	26000	41600	62400	66560	83200	83200
30	Ingresos instalación		0	1000	1000	1600	1600	1280	1280	6400
31	Total ingresos		0	14000	27000	43200	64000	67840	84480	89600

Fuente el Autor

En los numerales 26 y 27 se tienen los precios mensuales de los servicios SD/HD. En el numeral 28 está el costo eventual de la instalación del servicio. Los numerales 29 y 30 resumen los precios de los servicios. Un punto a tomar en cuenta es el numeral 25, en donde se habla de un ajuste anual de precios. Este ajuste consiste en el 20% de reducción anual del precio del servicio y se lo toma en cuenta para ser competitivo con el mercado actual. Todas las empresas lo consideran y es visible por ejemplo en las tarifas de Internet doméstico donde cada año tienen una baja en sus planes y tarifas. Con este ajuste el valor del TIR anual tiene un valor del 39% y en caso de bajar el valor del ajuste sube el TIR a valores muy altos y no reales. Respecto a la utilización de la red de transporte nacional se evalúa la tabla 32.

Tabla 32.Utilización de red de transporte. Comparación entre tráfico de video y tráfico del portador

1	Factor de disminución anual de Precio referencial costo enlaces de terceros	0.8								
Mes		0	1	2	7	25	26	27	35	36
		Valores de tráfico	alores de tráfico		Valores de tráfico					
2	Capacidad Internacional Ecuador	97512.80	97512.80	97512.80	8252153	407565.00	407565.00	407565.00	562591.00	977612.00
3	Capacidad Internacional (65%)	14626.92	14626.92	14626.92	24379.23	73104.75	73104.75	73104.75	102386.65	11842.55
4	Capacidad de video prorrateada en el tiempo	0.00	0.00	0.00	30.00	240.00	240.00	240.00	300.00	300.00
5	Tráfico real (70% de capacidad)	10970.19	10970.19	10970.19	18283.67	54891.06	54891.06	54891.06	76791.49	98731.91
6	Capacidad de VPN L3 - Internet concentrada en Guayaquil 35%	3839.57	3839.57	3839.57	6399.29	19197.87	19197.87	19197.87	26877.02	34556.17
7	Capacidad de VPN L3 - Internet concentrada en Quito 65%	7130.62	7130.62	7130.62	18684.38	35653.19	35653.19	35653.19	48914.47	64176.74
8	Capacidad Interurbana (tráfico VPN L3 - Internet entre Quito y Guayaquil)	3839.57	3839.57	3839.57	6399.29	19197.87	19197.87	19197.87	26877.02	34556.17
9	Tráfico Total Interurbano nacional (65% del Mercado de video al final de los 3 años)	3839.57	3839.57	3839.57	6429.29	19437.87	19437.87	19437.87	27177.02	34856.17
10	comparativo Tráfico Internet+VPN versus Tráfico de video		0%;	0%;	0%;	0%;	1%;	1%;	1%;	1%;

Fuente el Autor

El numeral 10 compara los tráficos de video (numeral 4) con respecto al tráfico del servicio total de transporte de VPN L3 más el tráfico de Internet (numeral 6). El valor proporcional es menor al 2% y por tanto es despreciable frente al tráfico que está cursando el proveedor actualmente y por tanto, en los costos de operación de este proyecto no se toman en cuenta el costo de cambio en los equipos de Núcleo ni las actualizaciones o incrementos en las troncales nacionales que ya tiene el proveedor de servicio. Hay que tomar en cuenta que ya se considera el uso máximo del 75% (numeral 5) y por tanto se salvaguarda el retardo y variación del retardo en servicios.

5.1.5. Evaluación financiera considerando los costos-precios y análisis de riesgo

En la tabla 33 se muestra el resumen de la evaluación financiera correspondiente a los ingresos estimados y al OPEX / CAPEX. En la figura 54 están los valores del VAN y TIR obtenidos en la evaluación. A detalle se encuentra en el anexo.

Tabla 33.Evaluación y resultados del proyecto de red de transporte en Contribución.

Resultados			Resultados									
MES			0	1	2	7	25	26	27	35	36	
38	Total costos (Capex + Ope)		\$ 267,815.4	\$ -	\$ -	\$ 37,668.1	\$ 88,783.4	\$ 22,067.2	\$ 22,067.2	\$ 27,584.0	\$ 22,067.2	
39	Ingresos - costos (Capex+Ope)		\$ (267,815.4)	\$ -	\$ -	\$ (23,668.1)	\$ (20,943.4)	\$ 44,432.8	\$ 44,432.8	\$ 62,016.0	\$ 67,532.8	
40	Fondos descontados		\$ (267,815.4)	\$ -	\$ -	\$ (22,199.9)	\$ (16,661.6)	\$ 35,074.2	\$ 34,754.7	\$ 45,023.3	\$ 48,592.6	
41	Fondos descontados acumulados		\$ (267,815.4)	- 267,815.4	- 267,815.4	- 290,015.3	- 29,880.0	5,194.1	39,948.9	317,523.7	366,106.3	
42	Período de repago		F	F	F	F	F	V	V	V	V	
43	Período de recuperación		1	1	1	1	1	1	0	0	0	
44	Tiempo de recuperación (meses)		26.9									
45	WACC (%)		11.68%									
46	WACC (m)		0.91905%									
47	VAN		366,106.32									
48	Máxima exposición		\$ (290,015.3)	EN MES 7								
49	TIR (m)		2.82761%	-791054.6749	A 3 años							
50	TIR (año)		39.74%	-791054.6749	A 3 años							

Fuente el Autor

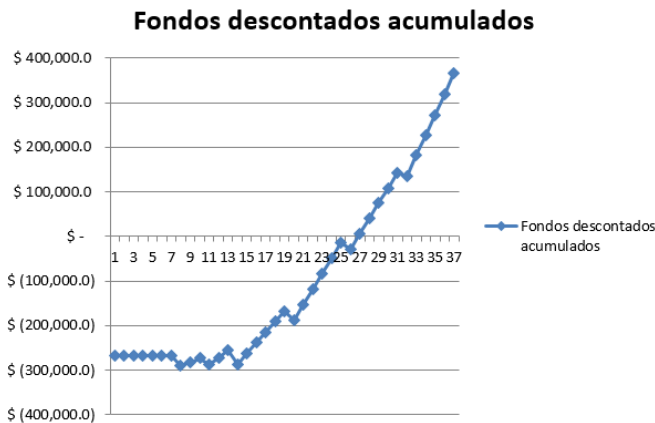


Figura 54. Fondos Descontados acumulados Fuente el Autor.

El VAN de este proyecto es \$ 366152.19 con una máxima exposición de capital de \$ 290,015.7 en el séptimo mes. Con respecto al TIR anual, es del 39.74%. Este es mayor al WACC calculado en 11.60%, y por tanto es un indicador de la rentabilidad de todo el proyecto. El tiempo de recuperación del proyecto es de 25 meses.

6. CAPÍTULO 6

SIMULACIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE

Los objetivos de la simulación son:

- Obtener una herramienta para probar el SLA planteado
- Probar los conceptos teóricos de Ingeniería de Tráfico
- Verificar la efectividad de la Convergencia Rápida de los protocolos de enrutamiento
- Comprobar lo fácil de simular cualquier ambiente IP y su portabilidad para compartirlo en medios educativos y de investigación

6.1. HERRAMIENTA UTILIZADA PARA LA SIMULACIÓN

Para la simulación se ha elegido la herramienta UNetLab o también conocida como Emulated Virtual Enviroment (EVM, ambiente emulado de virtualización).

Los requerimientos mínimos son:

- Procesador con capacidades de soporte a virtualización Intel VT-x/EPT o AMD-V/RVI
- VMware® Workstation 12 Player
- Se requiere CPU y RAM de acuerdo al número de nodos necesarios a emular. 1 CPU y 2GB de RAM pueden ser suficientes para IOU/IOL o Dynamips. Pero es insuficiente en el caso de requerir CSR1000V. En el caso de la simulación realizada es recomendable mínimo 4GB y por lo menos un Intel i5 o similar.


System	
Rating:	 Windows Experience Index
Processor:	Intel(R) Core(TM) i5-3210M CPU @ 2.50GHz 2.50 GHz
Installed memory (RAM):	12.0 GB (11.7 GB usable)
System type:	64-bit Operating System
Pen and Touch:	No Pen or Touch Input is available for this Display

Figura 55. Características de la PC sobre la cual se elaboró la simulación. Fuente el Autor.

Se recomienda utilizar VMware® Workstation 12 Player, y se anexa el link del sitio donde se describe la instalación de UNL:

6.2. TOPOLOGÍA PLANTEADA Y CARACTERÍSTICAS

En la figura 56 se verifica la topología planteada para la simulación:

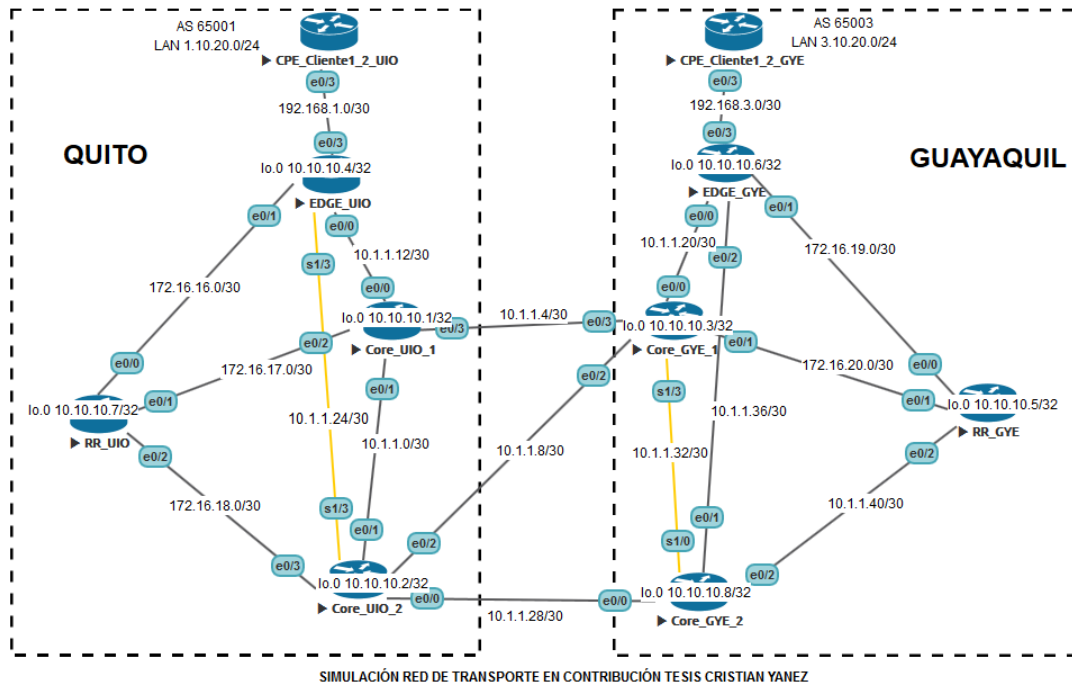


Figura 56. Topología de la simulación de una red de contribución. Fuente el Autor.

Las características sobresalientes son:

- Todos los equipos de la simulación son del fabricante Cisco, con una emulación sobre Linux del IOS, llamado IOL. Este emula las características fundamentales de la versión XE 15.0. En el caso requerido levanta todas las funcionalidades de MPLS, MPLE TE y advanced routing (BGP e ISIS).
- Se tienen dos CPE en los que se utiliza la técnica de virtualización conocida como VRF LITE. Con esto se puede simular varios CPE/clientes con un solo equipo. Para la simulación se tiene dos clientes llamados CLI1 y CLI2
- Se tienen dos equipos de borde, uno en Quito y uno en Guayaquil. Ellos manejan las VPN L3, llamadas CLI1 y CLI2. Sobre la instancia CLI1 se ha montado el transporte de video. Los equipos tienen el nombre de EDGE_UIO y EDGE_GYE.
- Se tienen cuatro equipos de núcleo, dos en Quito y dos en GYE. Llamados Core_UIO_1, Core_UIO_2, Core_GYE_1 y Core_GYE_2.

- A la vez por escalabilidad y para manejar la señalización de las VPN de capa 3 se utilizan dos ruteadores reflectores de rutas para manejar las sesiones IBGP sobre el dominio de ruteo AS 1.
- Se tienen dos túneles de Ingeniería de tráfico entre los equipos de borde:
 - Túnel 10 entre EDGE_UIO → CORE_UIO_1 → CORE_UIO_2 → CORE_GYE_2 → CORE_GYE_1 → EDGE_GYE (Color AZUL)
 - Túnel 158 entre EDGE_GYE → CORE_GYE_1 → CORE_UIO_2 → CORE_UIO_1 → EDGE_UIO (Color ROJO)
- FRR, Fast Reroute, en el CORE_UIO_2 se configura el Túnel 1 para que en caso de fallas en el enlace entre CORE_UIO_2 y CORE_GYE_2 se reenrute
 - Túnel 1 entre CORE_UIO_2 → CORE_GYE_1 → CORE_GYE_2 (Color VERDE)
 - Y de allí retoma al Túnel 10 hasta completar el camino entre los equipos de borde entre Quito y Guayaquil. (Color VERDE + Color CELESTE)
- Para la generación de tráfico se utiliza la herramienta IP SLA integrada dentro del IOL/IOS del fabricante Cisco.
- Hay que considerar que en la simulación no se considera situaciones de estrés de tráfico en troncales, dado el hecho que una de las premisas del diseño considera que las troncales van solo a trabajar al 75% de su utilización para garantizar el retardo y su variación.
- Lo importante a evaluar es como afecta la conmutación de circuitos utilizando FRR TE en una red a la pérdida de paquetes.

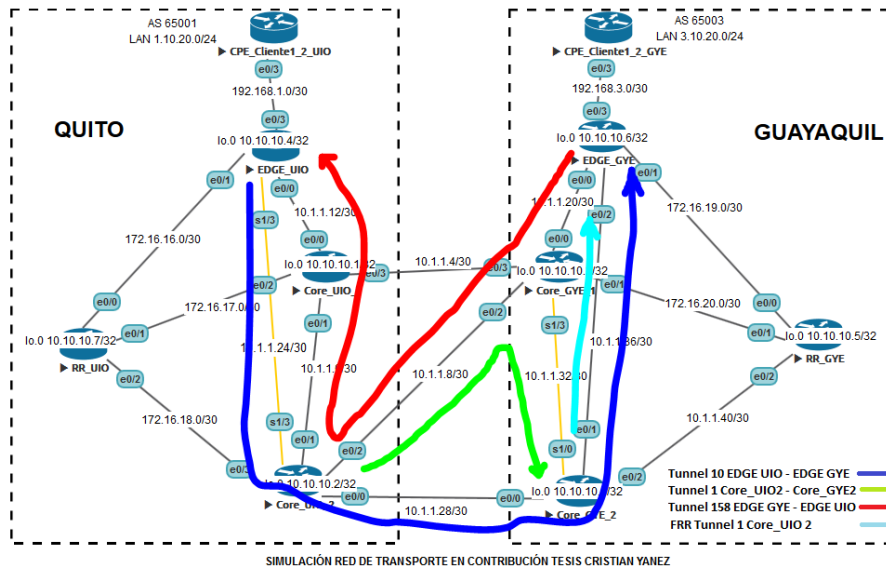


Figura 57. Túneles de Ingeniería de Tráfico. Fuente el Autor.

6.3. ESCENARIO DE PRUEBAS

Primero se evalúa cual es el comportamiento de la red en condiciones normales:

En el CPE de Quito se verifica su direccionamiento (1.10.20.1), sus rutas aprendidas por BGP (3.10.20.1) y su conectividad de loopback a loopback (icmp UIO-GYE), ver figura 58.

```

CPE_Cliente1_2_UIO
CPE_Cli_1_2_UIO#sh ip route | be Gate
Gateway of last resort is not set

    1.0.0.0/8 is variably subnetted, 3 subnets, 2 masks
C       1.1.1.1/32 is directly connected, Loopback100
C       1.10.20.0/24 is directly connected, Loopback1
L       1.10.20.1/32 is directly connected, Loopback1
B       3.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
B       3.10.20.0 [20/0] via 192.168.1.1, 00:01:18
B       192.168.1.0/24 is variably subnetted, 3 subnets, 3 masks
B       192.168.1.0/24 [20/0] via 192.168.1.1, 00:01:28
C       192.168.1.0/30 is directly connected, Ethernet0/3.100
L       192.168.1.2/32 is directly connected, Ethernet0/3.100
B       192.168.3.0/24 [20/0] via 192.168.1.1, 00:01:18
CPE_Cli_1_2_UIO#ping 3.10.20.1 source 1.10.20.1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 3.10.20.1, timeout is 2 seconds:
Packet sent with a source address of 1.10.20.1
!!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 6/6/7 ms
CPE_Cli_1_2_UIO#sh clo

```

Figura 58. Verificación de ruteo en CPE_Cliente1_2_UIO. Prueba de icmp hacia GYE. Fuente el Autor

```
CPE_Cliente1_2_UIO
CPE_Cli_1_2_UIO#traceroute 3.10.20.1 source 1.10.20.1
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 3.10.20.1
VRF info: (vrf in name/id, vrf out name/id)
 1 192.168.1.1 [AS 1] 0 msec 1 msec 0 msec
 2 10.1.1.13 [MPLS: Labels 34/35 Exp 0] 15 msec 15 msec 5 msec
 3 10.1.1.2 [MPLS: Labels 31/35 Exp 0] 6 msec 5 msec 6 msec
 4 10.1.1.30 [MPLS: Labels 19/35 Exp 0] 6 msec 6 msec 6 msec
 5 10.1.1.33 [MPLS: Labels 30/35 Exp 0] 5 msec 6 msec 14 msec
 6 192.168.3.1 [AS 1] [MPLS: Label 35 Exp 0] 5 msec 5 msec 18 msec
 7 192.168.3.2 [AS 1] 6 msec 2 msec *
CPE_Cli_1_2_UIO#
```

Figura 59. Traza desde el CPE UIO al CPE GYE. Fuente el Autor.

Y este recorrido lo comprobamos mostrando como está conformado el túnel de ingeniería de tráfico en la figura 60, conformado entre el Edge UIO y el EDGE GYE.

```
EDGE_UIO
EDGE_UIO#sh mpls traffic-eng tunnels tunnel 10 | sec Name
Name: EDGE_UIO_t10 (Tunnel10) Destination: 10.10.10.6
Status:
Admin: up Oper: up Path: valid Signalling: connected
path option 1, type explicit test (Basis for Setup, path weight 2540)
path option 2, type explicit test2
EDGE_UIO#sh mpls traffic-eng tunnels tunnel 10 | sec Explicit
Explicit Route: 10.1.1.13 10.1.1.1 10.1.1.2 10.1.1.29
                10.1.1.30 10.1.1.33 10.1.1.21 10.1.1.22
                10.10.10.6
Explicit Route: 10.1.1.26 10.1.1.29 10.1.1.30 10.1.1.38
                10.1.1.37 10.10.10.6
EDGE_UIO#
```

Figura 60. Túnel TE desde Quito a Guayaquil. Fuente el Autor.

En la figura 60 se aprecia el camino explícito definido dentro del túnel, su estado operacional y su señalización.

A la par tenemos su contraparte en Guayaquil y vemos la operatividad en el gráfico 61, 62 y 63:

```
CPE_Cliente1_2_GYE
CPE_Cli_1_2_GYE#sh ip route | be Gate
Gateway of last resort is not set

    1.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
B       1.10.20.0 [20/0] via 192.168.3.1, 01:51:58
    3.0.0.0/8 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C       3.10.20.0/24 is directly connected, Loopback1
L       3.10.20.1/32 is directly connected, Loopback1
B       192.168.1.0/24 [20/0] via 192.168.3.1, 01:51:58
    192.168.3.0/24 is variably subnetted, 3 subnets, 3 masks
B       192.168.3.0/24 [20/0] via 192.168.3.1, 01:51:58
C       192.168.3.0/30 is directly connected, Ethernet0/3.100
L       192.168.3.2/32 is directly connected, Ethernet0/3.100
CPE_Cli_1_2_GYE#ping 1.10.20.1 so
CPE_Cli_1_2_GYE#ping 1.10.20.1 source 3.10.20.1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 1.10.20.1, timeout is 2 seconds:
Packet sent with a source address of 3.10.20.1
!!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 4/7/14 ms
CPE_Cli_1_2_GYE#
```

Figura 61. Verificación de ruteo en CPE_Cliente1_2_GYE. Prueba de icmp hacia Quito. Fuente el Autor

```

CPE_Cliente1_2_GYE
CPE_Cli_1_2_GYE#traceroute 1.10.20.1 source 3.10.20.1
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 1.10.20.1
VRF info: (vrf in name/id, vrf out name/id)
 1 192.168.3.1 [AS 1] 1 msec 1 msec 0 msec
 2 10.1.1.21 [MPLS: Labels 31/35 Exp 0] 6 msec 5 msec 6 msec
 3 10.1.1.10 [MPLS: Labels 32/35 Exp 0] 15 msec 6 msec 15 msec
 4 10.1.1.1 [MPLS: Labels 35/35 Exp 0] 6 msec 6 msec 14 msec
 5 192.168.1.1 [AS 1] [MPLS: Label 35 Exp 0] 5 msec 5 msec 13 msec
 6 192.168.1.2 [AS 1] 6 msec 11 msec *
CPE_Cli_1_2_GYE#

```

Figura 62. Traza desde el CPE GYE al CPE UIO. Fuente el Autor.

```

EDGE_GYE
EDGE_GYE#show mpls traffic-eng tunnels tunnel 158 | sec Name
Name: EDGE_GYE_t158 (Tunnel158) Destination: 10.10.10.4
Status:
  Admin: up Oper: up Path: valid Signalling: connected
  path option 1, type explicit low (Basis for Setup, path weight 130)
EDGE_GYE#show mpls traffic-eng tunnels tunnel 158 | sec Expli
  Explicit Route: 10.1.1.21 10.1.1.9 10.1.1.10 10.1.1.2
                  10.1.1.1 10.1.1.13 10.1.1.14 10.10.10.4
  Explicit Route: 10.1.1.37 10.1.1.38 10.1.1.30 10.1.1.29
                  10.1.1.25 10.10.10.4
EDGE_GYE#

```

Figura 63. Túnel TE desde Guayaquil a Quito . Fuente el Autor

Para la generación y análisis de los KPI (key performance indicators, Retardo, Variación del Retardo y Pérdidas) se maneja el utilitario IP SLA que viene embebido dentro de los ruteadores Cisco.

IP SLA de Cisco (Cisco, 2017) mide el retardo y su variación por paquete y muestra o reporta un promedio de estos valores. No es posible verificar la información por paquete, sino su agregado. Una vista global con estadísticas que incluyen los mínimos, máximos y los promedios de las distintas métricas es obtenida vía comandos o SNMP.

Un resumen de las métricas reportadas es:

Delay (Retardo, por dirección o viaje total – ida y vuelta)

Packet Loss (Pérdidas, por dirección)

Jitter (por dirección, positivo o negativo)

Se configura un generador de tráfico (en este caso el CPE de Quito) y un equipo de respuesta (el CPE de Guayaquil).

En las figuras 64, 65 y 66 se ven las configuraciones de IP SLA en los cpe's y a la vez su estatus.

```

CPE_Client1_2_UIO
CPE_Cli_1_2_UIO#sh run | sec sla
ip sla auto discovery
ip sla 1
  udp-jitter 3.10.20.1 7777 num-packets 400 interval 25
  request-data-size 500
  tos 184
  verify-data
  owner TESIS RED TX
  tag VIDEO_CONTRIBUCION
  threshold 400
  timeout 500
  frequency 1
ip sla schedule 1 life forever start-time now
CPE_Cli_1_2_UIO#

CPE_Client1_2_GYE
CPE_Cli_1_2_GYE#sh run | sec sla
ip sla responder
ip sla responder udp-echo ipaddress 1.10.20.1 port 7777
CPE_Cli_1_2_GYE#

```

Figura 64. Configuración de IP SLA en ruteadores CPE de Quito y Guayaquil. Fuente el Autor.

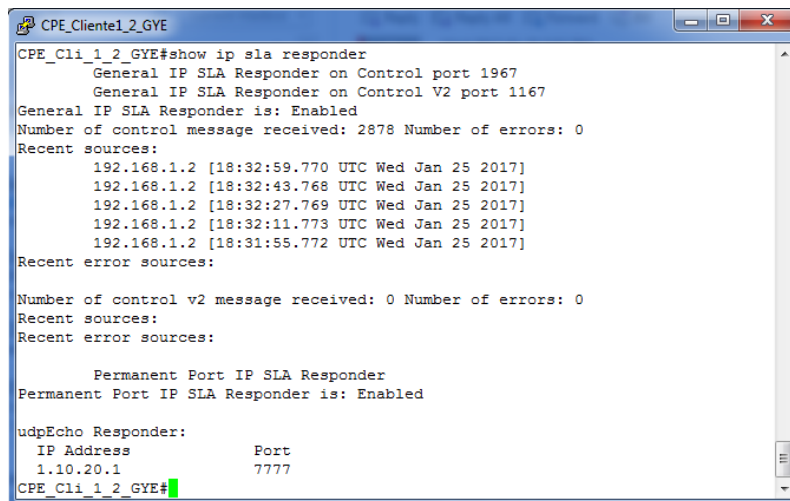
```

CPE_Client1_2_UIO
CPE_Cli_1_2_UIO#sh ip sla statistics 1
IPSLAs Latest Operation Statistics

IPSLA operation id: 1
Type of operation: udp-jitter
  Latest RTT: 12 milliseconds
Latest operation start time: 18:34:19 UTC Wed Jan 25 2017
Latest operation return code: OK
RTT Values:
  Number Of RTT: 400          RTT Min/Avg/Max: 9/12/18 milliseconds
Latency one-way time:
  Number of Latency one-way Samples: 400
  Source to Destination Latency one way Min/Avg/Max: 9/11/17 milliseconds
  Destination to Source Latency one way Min/Avg/Max: 0/0/2 milliseconds
Jitter Time:
  Number of SD Jitter Samples: 399
  Number of DS Jitter Samples: 399
  Source to Destination Jitter Min/Avg/Max: 0/3/6 milliseconds
  Destination to Source Jitter Min/Avg/Max: 0/1/1 milliseconds
Over Threshold:
  Number Of RTT Over Threshold: 0 (0%)
Packet Loss Values:
  Loss Source to Destination: 0
  Source to Destination Loss Periods Number: 0
  Source to Destination Loss Period Length Min/Max: 0/0
  Source to Destination Inter Loss Period Length Min/Max: 0/0
  Loss Destination to Source: 0
  Destination to Source Loss Periods Number: 0
  Destination to Source Loss Period Length Min/Max: 0/0
  Destination to Source Inter Loss Period Length Min/Max: 0/0
  Out Of Sequence: 0      Tail Drop: 0
  Packet Late Arrival: 0  Packet Skipped: 0
Voice Score Values:
  Calculated Planning Impairment Factor (ICPIF): 0
  Mean Opinion Score (MOS): 0
Number of successes: 82
Number of failures: 0
Operation time to live: Forever
CPE_Cli_1_2_UIO#

```

Figura 65. Estadísticas del funcionamiento del probe IP SLA entre Quito y Guayaquil. Fuente el Autor.



```
CPE_Cliente1_2_GYE
CPE_Cli_1_2_GYE#show ip sla responder
General IP SLA Responder on Control port 1967
General IP SLA Responder on Control V2 port 1167
General IP SLA Responder is: Enabled
Number of control message received: 2878 Number of errors: 0
Recent sources:
  192.168.1.2 [18:32:59.770 UTC Wed Jan 25 2017]
  192.168.1.2 [18:32:43.768 UTC Wed Jan 25 2017]
  192.168.1.2 [18:32:27.769 UTC Wed Jan 25 2017]
  192.168.1.2 [18:32:11.773 UTC Wed Jan 25 2017]
  192.168.1.2 [18:31:55.772 UTC Wed Jan 25 2017]
Recent error sources:

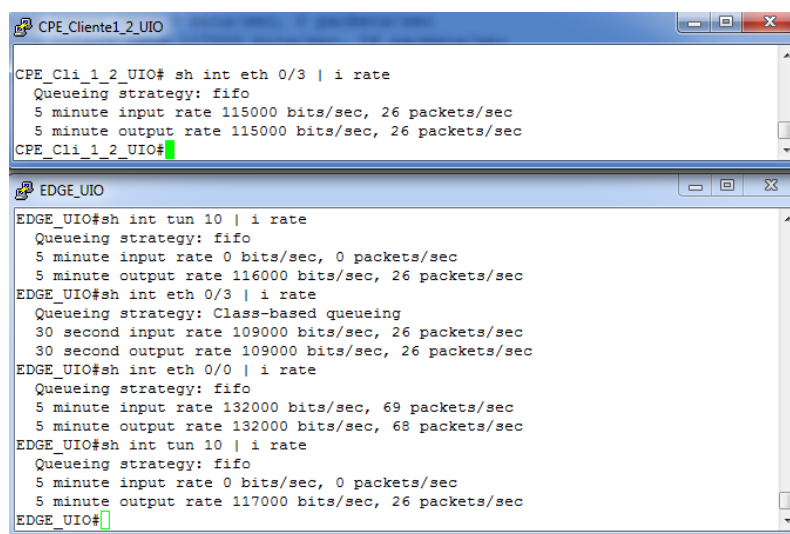
Number of control v2 message received: 0 Number of errors: 0
Recent sources:
Recent error sources:

Permanent Port IP SLA Responder
Permanent Port IP SLA Responder is: Enabled

udpEcho Responder:
  IP Address      Port
  1.10.20.1       7777
CPE_Cli_1_2_GYE#
```

Figura 66. Funcionamiento del equipo CPE en Guayaquil que responde a las pruebas enviadas desde CPE QUITO. Fuente el Autor.

Este procedimiento genera un tráfico simétrico entre los CPE de 115Kb/s y se lo puede apreciar en la figura 67 y 68. Nótese que las interfaces que tienen tráfico en un solo sentido corresponden a los túneles MPLS unidireccionales.



```
CPE_Cliente1_2_UIO
CPE_Cli_1_2_UIO# sh int eth 0/3 | i rate
Queueing strategy: fifo
5 minute input rate 115000 bits/sec, 26 packets/sec
5 minute output rate 115000 bits/sec, 26 packets/sec
CPE_Cli_1_2_UIO#

EDGE_UIO
EDGE_UIO#sh int tun 10 | i rate
Queueing strategy: fifo
5 minute input rate 0 bits/sec, 0 packets/sec
5 minute output rate 116000 bits/sec, 26 packets/sec
EDGE_UIO#sh int eth 0/3 | i rate
Queueing strategy: Class-based queueing
30 second input rate 109000 bits/sec, 26 packets/sec
30 second output rate 109000 bits/sec, 26 packets/sec
EDGE_UIO#sh int eth 0/0 | i rate
Queueing strategy: fifo
5 minute input rate 132000 bits/sec, 69 packets/sec
5 minute output rate 132000 bits/sec, 68 packets/sec
EDGE_UIO#sh int tun 10 | i rate
Queueing strategy: fifo
5 minute input rate 0 bits/sec, 0 packets/sec
5 minute output rate 117000 bits/sec, 26 packets/sec
EDGE_UIO#
```

Figura 67. Tráfico en las interfaces de los ruteadores EDGE_UIO y CPE_UIO. Fuente el Autor

```

CPE_Cliente1_2_GYE
CPE_Cli_1_2_GYE#sh int eth 0/3 | i rate
Queueing strategy: fifo
30 second input rate 108000 bits/sec, 25 packets/sec
30 second output rate 108000 bits/sec, 25 packets/sec
CPE_Cli_1_2_GYE#

EDGE_GYE
EDGE_GYE#sh int eth 0/3 | i rate
Queueing strategy: Class-based queueing
30 second input rate 108000 bits/sec, 25 packets/sec
30 second output rate 108000 bits/sec, 25 packets/sec
EDGE_GYE#sh int eth 0/0 | i rate
Queueing strategy: Class-based queueing
5 minute input rate 134000 bits/sec, 69 packets/sec
5 minute output rate 135000 bits/sec, 70 packets/sec
EDGE_GYE#sh int tun 158 | i rate
Queueing strategy: fifo
5 minute input rate 0 bits/sec, 0 packets/sec
5 minute output rate 116000 bits/sec, 26 packets/sec
EDGE_GYE#

```

Figura 68. Tráfico en las interfaces de los routers *EDGE_GYE* y *CPE_GYE*. Fuente el Autor

En lo referente a QoS, los CPE de Quito como Guayaquil, identifican los paquetes marcados con DSCP EF que los atraviesan y los colocan en la cola de prioridad de salida, enviando estos paquetes a los equipos de borde con los mejores retardos. Ver figura 69 y 70.

```

CPE_Cli_1_2_UIO
!
class-map match-all video_lan
match ip dscp ef
!
policy-map video
class video_lan
set dscp ef
!
!
interface Ethernet0/3.100
encapsulation dot1q 100
ip address 192.168.1.2 255.255.255.252
service-policy output video

*****

CPE_Cli_1_2_GYE
!
class-map match-all video_lan
match ip dscp ef
!
policy-map video
class video_lan
set dscp ef
!
!
interface Ethernet0/3.100
encapsulation dot1q 100
ip address 192.168.3.2 255.255.255.252
service-policy output video

```

Figura 69. Configuración de QoS en CPE de Quito y Guayaquil. Fuente el Autor.

The image shows two terminal windows. The top window, titled 'CPE_Cliente1_2_UIO', displays QoS statistics for interface Ethernet0/3.100. It shows two class-maps: 'video_lan' with 240897 packets and 118104806 bytes, and 'class-default' with 510 packets and 37578 bytes. The bottom window, titled 'CPE_Cliente1_2_GYE', displays similar statistics for interface Ethernet0/3.100, with 'video_lan' having 241726 packets and 118470528 bytes, and 'class-default' having 500 packets and 37226 bytes.

```

CPE_Cliente1_2_UIO
CPE_Cli_1_2_UIO#sh policy-map int eth 0/3.100
Ethernet0/3.100

Service-policy output: video

Class-map: video_lan (match-all)
  240897 packets, 118104806 bytes
  5 minute offered rate 107000 bps, drop rate 0000 bps
  Match: ip dscp ef (46)
  QoS Set
    dscp ef
    Packets marked 240897

Class-map: class-default (match-any)
  510 packets, 37578 bytes
  5 minute offered rate 0000 bps, drop rate 0000 bps
  Match: any
CPE_Cli_1_2_UIO#

CPE_Cliente1_2_GYE
CPE_Cli_1_2_GYE#sh policy-map int eth 0/3.100
Ethernet0/3.100

Service-policy output: video

Class-map: video_lan (match-all)
  241726 packets, 118470528 bytes
  30 second offered rate 107000 bps, drop rate 0000 bps
  Match: ip dscp ef (46)
  QoS Set
    dscp ef
    Packets marked 241726

Class-map: class-default (match-any)
  500 packets, 37226 bytes
  30 second offered rate 0000 bps, drop rate 0000 bps
  Match: any
CPE_Cli_1_2_GYE#

```

Figura 70. Estadísticas de QoS sobre los interfaces de WAN en los CPE's de Quito y Guayaquil. Fuente el Autor.

Los equipos de borde tanto en Quito como en Guayaquil, reciben el tráfico saliente de los CPE y lo tratan de acuerdo a las marcaciones con las que vienen etiquetados. Ver figuras 71 a 74.

```

EDGE_UIO#sh policy-map interface eth 0/0
Ethernet0/0

Service-policy output: CISCO-CORE

queue stats for all priority classes:
Queueing
queue limit 64 packets
(queue depth/total drops/no-buffer drops) 0/0/0
(pkts output/bytes output) 12960/4189962

Class-map: EF (match-any)
  12960 packets, 4189962 bytes
  5 minute offered rate 80000 bps, drop rate 0000 bps
  Match: mpls experimental topmost 4
    0 packets, 0 bytes
    5 minute rate 0 bps
  Match: mpls experimental topmost 5
    7044 packets, 3866136 bytes
    5 minute rate 75000 bps
  Match: ip precedence 4
    0 packets, 0 bytes
    5 minute rate 0 bps
  Match: ip precedence 5
    0 packets, 0 bytes
    5 minute rate 0 bps
  Match: ip precedence 6
    5916 packets, 323826 bytes
    5 minute rate 9000 bps
  Match: ip precedence 7
    0 packets, 0 bytes
    5 minute rate 0 bps
  Priority: 75% (384 kbps), burst bytes 9600, b/w exceed drops: 0

```

Figura 71. Estadísticas de QoS del router de EDGE_UIO en Quito. Interfaz ve a los routers de núcleo. Fuente el Autor


```

EDGE_UIO#sh policy-map interface eth 0/3
Ethernet0/3

Service-policy output: CLII

queue stats for all priority classes:
Queueing
queue limit 64 packets
(queue depth/total drops/no-buffer drops) 0/0/0
(pkts output/bytes output) 256371/126004973

Class-map: EF (match-any)
256371 packets, 126004973 bytes
30 second offered rate 108000 bps, drop rate 0000 bps
Match: mpls experimental topmost 4
0 packets, 0 bytes
30 second rate 0 bps
Match: mpls experimental topmost 5
0 packets, 0 bytes
30 second rate 0 bps
Match: ip precedence 4
0 packets, 0 bytes
30 second rate 0 bps
Match: ip precedence 5
255428 packets, 125935636 bytes
30 second rate 108000 bps
Match: ip precedence 6
943 packets, 69337 bytes
30 second rate 0 bps
Match: ip precedence 7
0 packets, 0 bytes
30 second rate 0 bps
Priority: 75% (76800 kbps), burst bytes 1920000, b/w exceed drops: 0

```

Figura 72. Estadísticas de QoS del router de EDGE_UIO en Quito. Interfaz que recibe al CPE. Fuente el Autor

```

EDGE_GYE#sh policy-map interface eth 0/3
Ethernet0/3

Service-policy output: CLII

queue stats for all priority classes:
Queueing
queue limit 64 packets
(queue depth/total drops/no-buffer drops) 0/0/0
(pkts output/bytes output) 726640/381673727

Class-map: EF (match-any)
726640 packets, 381673727 bytes
30 second offered rate 109000 bps, drop rate 0000 bps
Match: mpls experimental topmost 4
0 packets, 0 bytes
30 second rate 0 bps
Match: mpls experimental topmost 5
0 packets, 0 bytes
30 second rate 0 bps
Match: ip precedence 4
0 packets, 0 bytes
30 second rate 0 bps
Match: ip precedence 5
724307 packets, 381506378 bytes
30 second rate 109000 bps
Match: ip precedence 6
2333 packets, 167349 bytes
30 second rate 0 bps
Match: ip precedence 7
0 packets, 0 bytes
30 second rate 0 bps
Priority: 75% (76800 kbps), burst bytes 1920000, b/w exceed drops: 0

```

Figura 73. Estadísticas de QoS del router de EDGE_GYE en Guayaquil. Interfaz que recibe al CPE. Fuente el Autor

```

EDGE_GYE#sh policy-map interface eth 0/0
Ethernet0/0

Service-policy output: CISCO-CORE

queue stats for all priority classes:
Queueing
queue limit 64 packets
(queue depth/total drops/no-buffer drops) 0/0/0
(pkts output/bytes output) 1391842/422043930

Class-map: EF (match-any)
1391842 packets, 422043930 bytes
5 minute offered rate 118000 bps, drop rate 0000 bps
Match: mpls experimental topmost 4
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: mpls experimental topmost 5
726730 packets, 385613672 bytes
5 minute rate 109000 bps
Match: ip precedence 4
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: ip precedence 5
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: ip precedence 6
665112 packets, 36430258 bytes
5 minute rate 9000 bps
Match: ip precedence 7
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Priority: 75% (384 kbps), burst bytes 9600, b/w exceed drops: 0

```

Figura 74. Estadísticas de QoS del router de EDGE_GYE en Guayaquil. Interfaz ve a los routers de núcleo. Fuente el Autor

El tráfico saliente de los equipos de borde es recibido por el núcleo de tal manera que preserva sus KPI de SLA mediante el QoS implementado en sus interfaces. Todo el tráfico atraviesa el núcleo desde Quito a Guayaquil. Ver figuras 75, 88. Hay que considerar que en el Core_UIO_2 hay un túnel de backup que todavía está sin tráfico por estar en condiciones normales.

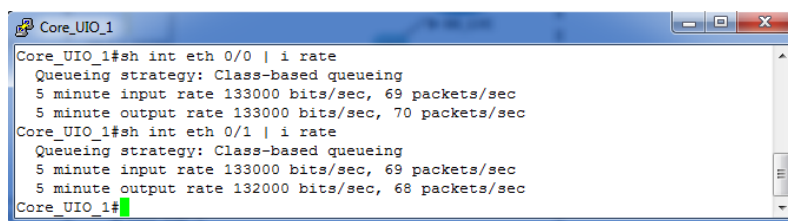


Figura 75. Tráfico generado por IP SLA desde Quito, visto desde el Core_UIO_1. Fuente el Autor.

```

Core_UIO_1#sh policy-map int eth 0/0
Ethernet0/0

Service-policy output: CISCO-CORE

queue stats for all priority classes:
Queueing
queue limit 64 packets
(queue depth/total drops/no-buffer drops) 0/0/0
(pkts output/bytes output) 1258844/377163740

Class-map: EF (match-any)
1258844 packets, 377163740 bytes
5 minute offered rate 115000 bps, drop rate 0000 bps
Match: mpls experimental topmost 4
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: mpls experimental topmost 5
655908 packets, 344122192 bytes
5 minute rate 106000 bps
Match: ip precedence 4
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: ip precedence 5
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: ip precedence 6
602936 packets, 33041548 bytes
5 minute rate 9000 bps
Match: ip precedence 7
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Priority: 75% (384 kbps), burst bytes 9600, b/w exceed drops: 0

```

Figura 76. Estadísticas de QoS del router de Core_UIO_1 en Quito. Interfaz de tránsito del núcleo. Fuente el Autor

```

Core_UIO_1#sh policy-map int eth 0/1
Ethernet0/1

Service-policy output: CISCO-CORE

queue stats for all priority classes:
Queueing
queue limit 64 packets
(queue depth/total drops/no-buffer drops) 0/0/0
(pkts output/bytes output) 1270088/382413168

Class-map: EF (match-any)
1270088 packets, 382413168 bytes
5 minute offered rate 116000 bps, drop rate 0000 bps
Match: mpls experimental topmost 4
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: mpls experimental topmost 5
659685 packets, 348934082 bytes
5 minute rate 107000 bps
Match: ip precedence 4
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: ip precedence 5
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: ip precedence 6
610403 packets, 33479086 bytes
5 minute rate 9000 bps
Match: ip precedence 7
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Priority: 75% (384 kbps), burst bytes 9600, b/w exceed drops: 0

```

Figura 77. Estadísticas de QoS del router de Core_UIO_1 en Quito. Interfaz de tránsito del núcleo. Fuente el Autor

```

Core_UIO_2#sh int eth 0/0 | i rate
Queueing strategy: Class-based queueing
5 minute input rate 19000 bits/sec, 44 packets/sec
5 minute output rate 134000 bits/sec, 70 packets/sec
Core_UIO_2#sh int eth 0/1 | i rate
Queueing strategy: Class-based queueing
5 minute input rate 134000 bits/sec, 69 packets/sec
5 minute output rate 134000 bits/sec, 69 packets/sec
Core_UIO_2#sh int eth 0/2 | i rate
Queueing strategy: Class-based queueing
5 minute input rate 135000 bits/sec, 70 packets/sec
5 minute output rate 19000 bits/sec, 43 packets/sec
Core_UIO_2#sh int tun 1 | i rate
Queueing strategy: fifo
5 minute input rate 0 bits/sec, 0 packets/sec
5 minute output rate 0 bits/sec, 0 packets/sec
Core_UIO_2#

```

Figura 78. Tráfico generado por IP SLA desde Quito, visto desde el Core_UIO_2. Fuente el Autor.

```

Core_UIO_2#show policy-map int eth 0/1
Ethernet0/1

Service-policy output: CISCO-CORE

queue stats for all priority classes:
Queueing
queue limit 64 packets
(queue depth/total drops/no-buffer drops) 0/0/0
(pkts output/bytes output) 1300940/393163072

Class-map: EF (match-any)
1300940 packets, 393163072 bytes
5 minute offered rate 119000 bps, drop rate 0000 bps
Match: mpls experimental topmost 4
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: mpls experimental topmost 5
677947 packets, 358841094 bytes
5 minute rate 108000 bps
Match: ip precedence 4
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: ip precedence 5
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: ip precedence 6
622993 packets, 34321978 bytes
5 minute rate 9000 bps
Match: ip precedence 7
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Priority: 75% (384 kbps), burst bytes 9600, b/w exceed drops: 0

```

Figura 79. Estadísticas de QoS del router de Core_UIO_2 en Quito. Interfaz de tránsito del núcleo. Fuente el Autor

```

Core_UIO_2#show policy-map int eth 0/2
Ethernet0/2

Service-policy output: CISCO-CORE

queue stats for all priority classes:
Queueing
queue limit 64 packets
(queue depth/total drops/no-buffer drops) 0/0/0
(pkts output/bytes output) 623616/33931202

Class-map: EF (match-any)
623616 packets, 33931202 bytes
5 minute offered rate 9000 bps, drop rate 0000 bps
Match: mpls experimental topmost 4
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: mpls experimental topmost 5
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: ip precedence 4
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: ip precedence 5
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: ip precedence 6
623616 packets, 33931202 bytes
5 minute rate 9000 bps
Match: ip precedence 7
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Priority: 75% (384 kbps), burst bytes 9600, b/w exceed drops: 0

```

Figura 80. Estadísticas de QoS del router de Core_UIO_2 en Quito. Interfaz de tránsito del núcleo. Fuente el Autor

```

Core_UIO_2#show policy-map int eth 0/0
Ethernet0/0

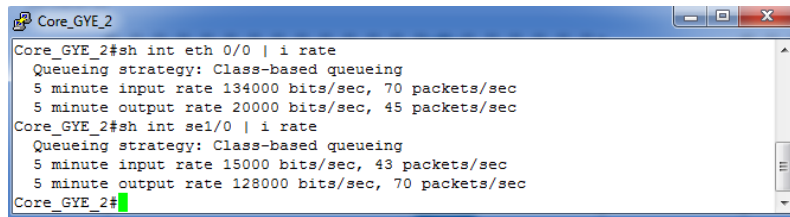
Service-policy output: CISCO-CORE

queue stats for all priority classes:
Queueing
queue limit 64 packets
(queue depth/total drops/no-buffer drops) 0/0/0
(pkts output/bytes output) 1306643/395379076

Class-map: EF (match-any)
1306643 packets, 395379076 bytes
5 minute offered rate 115000 bps, drop rate 0000 bps
Match: mpls experimental topmost 4
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: mpls experimental topmost 5
682205 packets, 361294546 bytes
5 minute rate 106000 bps
Match: ip precedence 4
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: ip precedence 5
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: ip precedence 6
624438 packets, 34084530 bytes
5 minute rate 9000 bps
Match: ip precedence 7
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Priority: 75% (384 kbps), burst bytes 9600, b/w exceed drops: 0

```

Figura 81. Estadísticas de QoS del router de Core_UIO_2 en Quito. Interfaz de tránsito del núcleo. Fuente el Autor



```
Core_GYE_2#sh int eth 0/0 | i rate
Queueing strategy: Class-based queueing
 5 minute input rate 134000 bits/sec, 70 packets/sec
 5 minute output rate 20000 bits/sec, 45 packets/sec
Core_GYE_2#sh int se1/0 | i rate
Queueing strategy: Class-based queueing
 5 minute input rate 15000 bits/sec, 43 packets/sec
 5 minute output rate 128000 bits/sec, 70 packets/sec
Core_GYE_2#
```

Figura 82. Tráfico generado por IP SLA desde Quito, visto desde el Core_GYE_2. Fuente el Autor.

```
Core_GYE_2#show policy-map int se 1/0
Serial1/0

Service-policy output: CISCO-CORE

queue stats for all priority classes:
Queueing
queue limit 64 packets
(queue depth/total drops/no-buffer drops) 0/0/0
(pkts output/bytes output) 1335938/391193774

Class-map: EF (match-any)
1335938 packets, 391193774 bytes
 5 minute offered rate 113000 bps, drop rate 0000 bps
Match: mpls experimental topmost 4
 0 packets, 0 bytes
 5 minute rate 0 bps
Match: mpls experimental topmost 5
 697379 packets, 362649880 bytes
 5 minute rate 106000 bps
Match: ip precedence 4
 0 packets, 0 bytes
 5 minute rate 0 bps
Match: ip precedence 5
 0 packets, 0 bytes
 5 minute rate 0 bps
Match: ip precedence 6
 638559 packets, 28543894 bytes
 5 minute rate 7000 bps
Match: ip precedence 7
 0 packets, 0 bytes
 5 minute rate 0 bps
Priority: 75% (384 kbps), burst bytes 9600, b/w exceed drops: 0
```

Figura 83. Estadísticas de QoS del router de Core_GYE_2 en Guayaquil. Interfaz de tránsito del núcleo. Fuente el Autor

```

Core_GYE_2#show policy-map int eth 0/0
Ethernet0/0

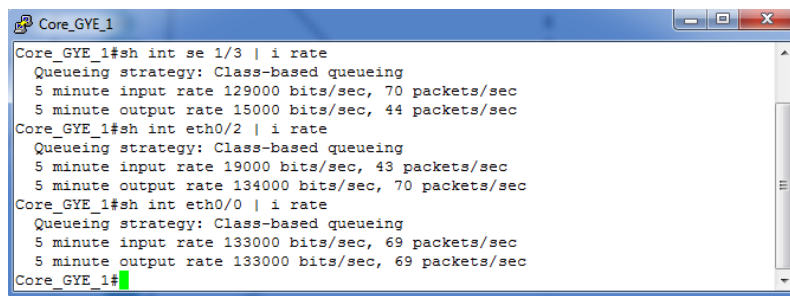
Service-policy output: CISCO-CORE

queue stats for all priority classes:
Queueing
queue limit 64 packets
(queue depth/total drops/no-buffer drops) 0/0/0
(pkts output/bytes output) 645193/35168234

Class-map: EF (match-any)
645193 packets, 35168234 bytes
5 minute offered rate 9000 bps, drop rate 0000 bps
Match: mpls experimental topmost 4
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: mpls experimental topmost 5
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: ip precedence 4
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: ip precedence 5
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: ip precedence 6
645193 packets, 35168234 bytes
5 minute rate 9000 bps
Match: ip precedence 7
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Priority: 75% (384 kbps), burst bytes 9600, b/w exceed drops: 0

```

Figura 84. Estadísticas de QoS del router de Core_GYE_2 en Guayaquil. Interfaz de tránsito del núcleo.
Fuente el Autor.



```

Core_GYE_1#sh int se 1/3 | i rate
Queueing strategy: Class-based queueing
5 minute input rate 129000 bits/sec, 70 packets/sec
5 minute output rate 15000 bits/sec, 44 packets/sec
Core_GYE_1#sh int eth0/2 | i rate
Queueing strategy: Class-based queueing
5 minute input rate 19000 bits/sec, 43 packets/sec
5 minute output rate 134000 bits/sec, 70 packets/sec
Core_GYE_1#sh int eth0/0 | i rate
Queueing strategy: Class-based queueing
5 minute input rate 133000 bits/sec, 69 packets/sec
5 minute output rate 133000 bits/sec, 69 packets/sec
Core_GYE_1#

```

Figura 85. Tráfico generado por IP SLA desde Quito, visto desde el Core_GYE_1. Fuente el Autor.

```

Core_GYE_1#sh policy-map int ser1/3
Serial1/3

Service-policy output: CISCO-CORE

queue stats for all priority classes:
Queueing
queue limit 64 packets
(queue depth/total drops/no-buffer drops) 0/0/0
(pkts output/bytes output) 644772/28842028

Class-map: EF (match-any)
644772 packets, 28842028 bytes
5 minute offered rate 7000 bps, drop rate 0000 bps
Match: mpls experimental topmost 4
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: mpls experimental topmost 5
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: ip precedence 4
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: ip precedence 5
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: ip precedence 6
644772 packets, 28842028 bytes
5 minute rate 7000 bps
Match: ip precedence 7
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Priority: 75% (384 kbps), burst bytes 9600, b/w exceed drops: 0

```

Figura 86. Estadísticas de QoS del router de Core_GYE_1 en Guayaquil. Interfaz de tránsito del núcleo.
Fuente el Autor.

```

Core_GYE_1#sh policy-map int eth 0/2
Ethernet0/2

Service-policy output: CISCO-CORE

queue stats for all priority classes:
Queueing
queue limit 64 packets
(queue depth/total drops/no-buffer drops) 0/0/0
(pkts output/bytes output) 1361256/412075080

Class-map: EF (match-any)
1361256 packets, 412075080 bytes
5 minute offered rate 116000 bps, drop rate 0000 bps
Match: mpls experimental topmost 4
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: mpls experimental topmost 5
710198 packets, 376541064 bytes
5 minute rate 107000 bps
Match: ip precedence 4
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: ip precedence 5
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: ip precedence 6
651058 packets, 35534016 bytes
5 minute rate 9000 bps
Match: ip precedence 7
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Priority: 75% (384 kbps), burst bytes 9600, b/w exceed drops: 0

```

Figura 87. Estadísticas de QoS del router de Core_GYE_1 en Guayaquil. Interfaz de tránsito del núcleo.
Fuente el Autor.


```

Core_GYE_1#sh policy-map int eth 0/0
Ethernet0/0

Service-policy output: CISCO-CORE

queue stats for all priority classes:
Queueing
queue limit 64 packets
(queue depth/total drops/no-buffer drops) 0/0/0
(pkts output/bytes output) 1358118/410001816

Class-map: EF (match-any)
1358118 packets, 410001816 bytes
5 minute offered rate 115000 bps, drop rate 0000 bps
Match: mpls experimental topmost 4
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: mpls experimental topmost 5
711754 packets, 374666776 bytes
5 minute rate 105000 bps
Match: ip precedence 4
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: ip precedence 5
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Match: ip precedence 6
646364 packets, 35335040 bytes
5 minute rate 9000 bps
Match: ip precedence 7
0 packets, 0 bytes
5 minute rate 0 bps
Priority: 75% (384 kbps), burst bytes 9600, b/w exceed drops: 0

```

Figura 88. Estadísticas de QoS del ruteador de Core_GYE_1 en Guayaquil. Interfaz de tránsito del núcleo.
Fuente el Autor.

Con esto, se tiene una definición clara del tráfico entre los cpe y como se preserva el QoS. En condiciones normales, las estadísticas de los KPI se pueden obtener por varias corridas (en total se definen 10 corridas) del siguiente comando en el cpe de Quito:

CPE_Cli_1_2_UIO#ip sla udp-jitter 3.10.20.1 7777 tos 184 num-packets 500

Tabla 34. Valores de Retardo, Variación de Retardo y pérdidas, obtenidos del IP SLA de CISCO en condiciones normales.

Iteraciones	Delay [ms]						Jitter [ms]						Pérdidas					
	SD			DS			SD			DS			SD			DS		
	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
1	0	7	20	0	0	2	0	5	17	0	1	2	0	0	0	0	0	0
2	0	7	19	0	0	15	0	5	17	0	1	14	0	0	0	0	0	0
3	0	7	28	0	0	1	0	5	23	0	1	1	0	0	0	0	0	0
4	0	7	19	0	0	17	0	5	15	0	1	16	0	0	0	0	0	0
5	0	7	24	0	0	2	0	5	20	0	1	2	0	0	0	0	0	0
6	0	7	19	0	0	2	0	5	16	0	1	1	0	0	0	0	0	0
7	1	7	24	0	0	1	0	5	20	0	1	1	0	0	0	0	0	0
8	0	7	19	0	0	1	0	5	15	0	1	1	0	0	0	0	0	0
9	1	7	29	0	0	10	0	5	24	0	1	10	0	0	0	0	0	0
10	0	7	25	0	0	15	0	5	21	0	1	15	0	0	0	0	0	0

Fuente el Autor

Comparando los valores de la tabla 34 con los de la tabla 10 (KPI del Y.1541), los valores se encuentran dentro de las métricas.

6.4. ESCENARIO DE PRUEBAS EN EL CASO DE LA CAÍDA DEL ENLACE ENTRE EL CORE_UIO_2 Y EL CORE_GYE_2

Se escoge el enlace entre los core 2 de UIO-GYE para evaluar el comportamiento del sistema de una manera controlada en caso de fallas. Generalmente se definen los puntos o sitios en los que se considera probables de presentarse fallas (por ejemplo, nodos sin capacidad de redundancia, pasos de fibra en los cuales estadísticamente se han presentado mayor cantidad de fallas por accidentes o intervenciones de obras civiles).

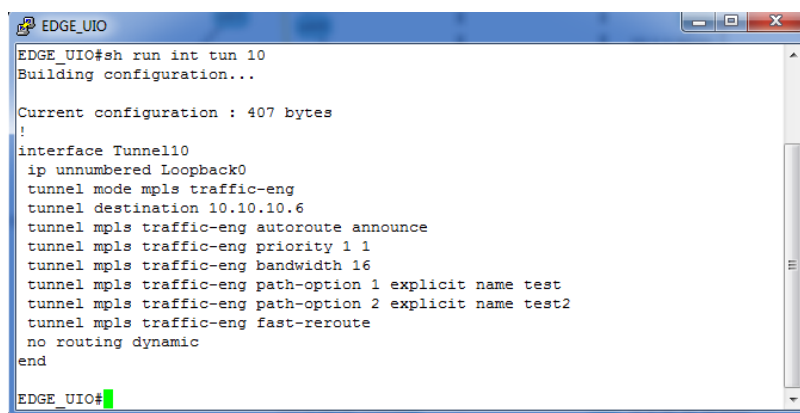
En los equipos Edge_UIO y en el Core_UIO_2 está configurado Fast Reroute en modo enlace:

EDGE_UIO:

```
tunnel mpls traffic-eng fast-reroute
```

Core_UIO_2:

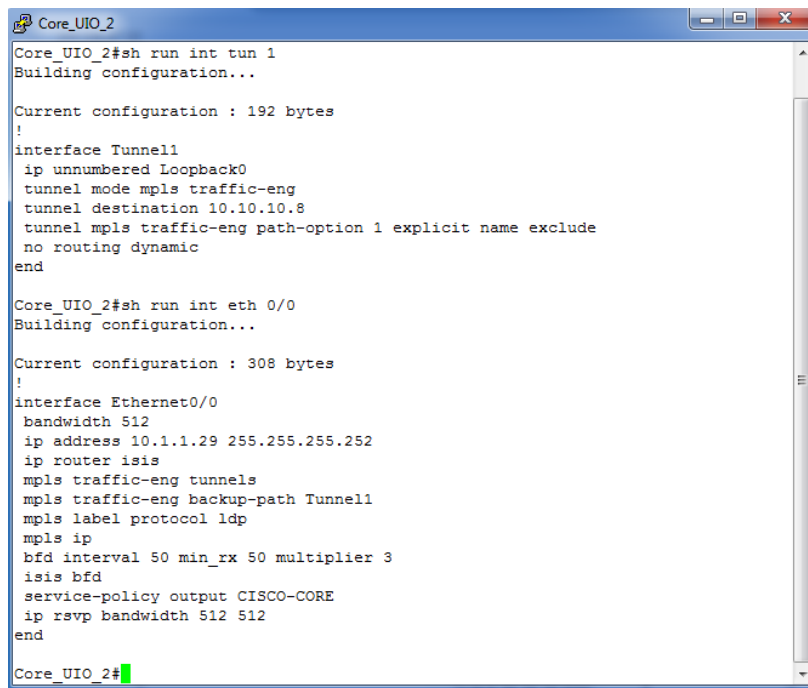
```
mpls traffic-eng backup-path Tunnel1
```



```
EDGE_UIO#sh run int tun 10
Building configuration...

Current configuration : 407 bytes
!
interface Tunnel10
 ip unnumbered Loopback0
 tunnel mode mpls traffic-eng
 tunnel destination 10.10.10.6
 tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
 tunnel mpls traffic-eng priority 1 1
 tunnel mpls traffic-eng bandwidth 16
 tunnel mpls traffic-eng path-option 1 explicit name test
 tunnel mpls traffic-eng path-option 2 explicit name test2
 tunnel mpls traffic-eng fast-reroute
 no routing dynamic
end
EDGE_UIO#
```

Figura 89. Configuración de la opción de rápida recuperación y convergencia Fast Reroute a nivel de enlace en el Edge_UIO de Quito. Fuente el Autor.



```
Core_UIO_2#sh run int tun 1
Building configuration...

Current configuration : 192 bytes
!
interface Tunnel1
 ip unnumbered Loopback0
 tunnel mode mpls traffic-eng
 tunnel destination 10.10.10.8
 tunnel mpls traffic-eng path-option 1 explicit name exclude
 no routing dynamic
end

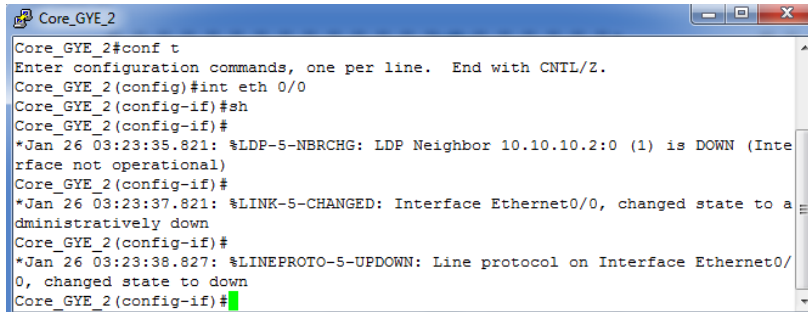
Core_UIO_2#sh run int eth 0/0
Building configuration...

Current configuration : 308 bytes
!
interface Ethernet0/0
 bandwidth 512
 ip address 10.1.1.29 255.255.255.252
 ip router isis
 mpls traffic-eng tunnels
 mpls traffic-eng backup-path Tunnel1
 mpls label protocol ldp
 mpls ip
 bfd interval 50 min_rx 50 multiplier 3
 isis bfd
 service-policy output CISCO-CORE
 ip rsvp bandwidth 512 512
end

Core_UIO_2#
```

Figura 90. Configuración de la opción de rápida recuperación y convergencia Fast Reroute a nivel de enlace en el Core_UIO_2 de Quito. Fuente el Autor.

Se baja de manera controlada la interfaz Ethernet 0/0 del Core_GYE_2 y se verifica que el FRR empieza a funcionar. Ver Figura 91.



```
Core_GYE_2#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Core_GYE_2(config)#int eth 0/0
Core_GYE_2(config-if)#sh
Core_GYE_2(config-if)#
*Jan 26 03:23:35.821: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 10.10.10.2:0 (1) is DOWN (Interface not operational)
Core_GYE_2(config-if)#
*Jan 26 03:23:37.821: %LINK-5-CHANGED: Interface Ethernet0/0, changed state to administratively down
Core_GYE_2(config-if)#
*Jan 26 03:23:38.827: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Ethernet0/0, changed state to down
Core_GYE_2(config-if)#
```

Figura 91. Baja de la interfaz Ethernet 0/0 en el Core_GYE_2 de Guayaquil para simular una falla. Fuente el Autor.

Cuando falla el circuito UIO-GYE entre los Core2, se verifica que el FRR entra en operación cuando el tráfico empieza a cursarse por el túnel de backup Tunnel 1 en el Core_UIO_2, ver figura 92. En la Figura 93, se observa como el Tunnel 10 en Edge_UIO empieza a utilizar el túnel de backup y permanece su señalización como conectado.

```

Core_UIO_2#sh int eth 0/1 | i rate
Queueing strategy: Class-based queueing
5 minute input rate 126000 bits/sec, 70 packets/sec
5 minute output rate 206000 bits/sec, 95 packets/sec
Core_UIO_2#sh int eth 0/2 | i rate
Queueing strategy: Class-based queueing
5 minute input rate 135000 bits/sec, 69 packets/sec
5 minute output rate 19000 bits/sec, 44 packets/sec
Core_UIO_2#sh int tun 1 | i rate
Queueing strategy: fifo
5 minute input rate 0 bits/sec, 0 packets/sec
5 minute output rate 65000 bits/sec, 23 packets/sec
Core_UIO_2#

```

Figura 92. Tráfico empieza a cursarse por el Tunel 1 de backup configurado en el Core_UIO_2. Fuente el Autor.

```

EDGE_UIO#show mpls traffic-eng tunnels tunnel 10
Name: EDGE_UIO_t10 (Tunnel10) Destination: 10.10.10.6
Status:
  Admin: up      Oper: up      Path: valid      Signalling: connected
  path option 1, type explicit test (Basis for Setup, path weight 2510)
  Change in required resources detected: reroute pending
  Currently Signalled Parameters:
    Bandwidth: 16 kbps (Global) Priority: 1 1 Affinity: 0x0/0xFF
FF
  Metric Type: TE (default)
  path option 2, type explicit test2
Config Parameters:
  Bandwidth: 16 kbps (Global) Priority: 1 1 Affinity: 0x0/0xFFFF
  Metric Type: TE (default)
  AutoRoute: enabled LockDown: disabled Loadshare: 16 bw-based
  auto-bw: disabled
Active Path Option Parameters:
  State: explicit path option 1 is active
  BandwidthOverride: disabled LockDown: disabled Verbatim: disabled

InLabel : -
OutLabel : Ethernet0/0, 37
RSVP Signalling Info:
  Src 10.10.10.4, Dst 10.10.10.6, Tun_Id 10, Tun_Instance 99
  RSVP Path Info:
    My Address: 10.1.1.14
    Explicit Route: 10.1.1.13 10.1.1.1 10.1.1.2 10.1.1.29
                  10.1.1.30 10.1.1.33 10.1.1.21 10.1.1.22
                  10.10.10.6
  Record Route: NONE
  Tspec: ave rate=16 kbits, burst=1000 bytes, peak rate=16 kbits
RSVP Resv Info:
  Record Route: 10.10.10.1(37) 10.10.10.2(35)
                10.10.10.8(36) 10.10.10.3(16)
                10.10.10.6(0)

```

Figura 93. Señalización del túnel 10 de Ingeniería de tráfico al presentarse una falla y activarse FRR. Fuente el Autor.

En la figura 94, se realiza una traza desde el CPE de Quito verificando mediante el número de etiquetas presentes en el ítem 4, donde al ingresar el paquete en el Core_UIO_2 este es “reenrutado” en el túnel 1 de backup asignándole una nueva etiqueta (tres etiquetas apiladas en total).

```

CPE_Cliente1_2_UIO
CPE_Cli_1_2_UIO#traceroute 3.10.20.1 source 1.10.20.1
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 3.10.20.1
VRF info: (vrf in name/id, vrf out name/id)
 1 192.168.1.1 [AS 1] 0 msec 0 msec 1 msec
 2 10.1.1.13 [MPLS: Labels 37/35 Exp 0] 21 msec 11 msec 26 msec
 3 10.1.1.2 [MPLS: Labels 35/35 Exp 0] 9 msec 10 msec 23 msec
 4 10.1.1.1 [MPLS: Labels 36/36/35 Exp 0] 27 msec 13 msec 10 msec
 5 10.1.1.6 [MPLS: Labels 36/36/35 Exp 0] 10 msec 14 msec 10 msec
 6 10.1.1.34 [MPLS: Labels 36/35 Exp 0] 10 msec 20 msec 13 msec
 7 10.1.1.33 [MPLS: Labels 16/35 Exp 0] 22 msec 9 msec 30 msec
 8 192.168.3.1 [AS 1] [MPLS: Label 35 Exp 0] 9 msec 11 msec 27 msec
 9 192.168.3.2 [AS 1] 10 msec 10 msec *
CPE_Cli_1_2_UIO#

```

Figura 94. Traza desde CPE Quito a CPE Guayaquil. Se verifica en ítem 4 que se añade una etiqueta al stack por utilizar el tunel de backup. Fuente el Autor.

Se realiza una serie de 10 pruebas de IP SLA bajo condiciones de fallas, en donde se baja y levanta la interfaz del Core_GYE_2. Y durante ese lapso se corren probes de ip SLA.

Tabla 35. Valores de Retardo, Variación de Retardo y pérdidas, obtenidos del IP SLA de CISCO en condiciones de falla.

Iteraciones	Delay [ms]						Jitter [ms]						Pérdidas			
	SD			DS			SD			DS			SD		DS	
	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Max	Min	Max
1	4	15	32	0	0	1	0	7	25	0	1	1	0	0	0	0
2	5	15	35	0	0	14	0	7	25	0	1	14	0	0	0	0
3	6	15	30	0	0	1	0	7	23	0	1	1	0	0	0	0
4	5	15	31	0	0	1	0	8	25	0	1	1	0	0	0	0
5	5	15	31	0	0	2	0	7	24	0	1	1	0	0	0	0
6	1	7	19	0	0	4	0	5	17	0	1	4	0	0	0	0
7	0	8	18	0	0	1	0	5	18	0	1	1	0	0	0	0
8	1	7	18	0	0	1	0	5	14	0	1	1	0	0	0	0
9	2	7	18	0	0	1	0	4	13	0	1	1	0	0	0	0
10	1	7	19	0	0	1	0	5	15	0	1	1	0	0	0	0

Fuente el Autor.

De la tabla 35, se verifica que en condiciones de falla, los KPI se mantienen dentro de los rangos dados por los índices del Y.1541.

7. CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- Los daños causados en las tramas MPEG por la pérdida de paquetes en la conmutación de circuitos causado por fallas en enlaces o equipos de comunicaciones, en el orden de los 50 ms, puede ser tan mala como la resultante en 500ms. Esto se mitiga con el uso de corrección de errores en los equipos terminales como FEC 1D 4x5.
- El valor encontrado del WACC para este proyecto fue de 11.60%, que es bajo comparado con valores similares de proyectos de inversión en infraestructura. Este valor nos indica que se trata de una inversión en un segmento de negocios de bajo riesgo. Adicionalmente hay que tomar en cuenta que este proyecto se realizaría en el Ecuador, lo que hace que los proyectos en otros segmentos de negocio tengan un WACC más alto por la variabilidad del mercado, a diferencia del sector de las telecomunicaciones que es un sector relativamente estable frente a las variabilidades del mercado de cada país.
- Cuando se plantean modelos de inversión como el analizado en este proyecto, es necesario considerar valores de ajustes anuales a los costos de últimas millas e interurbanos provistos por terceros al igual que los precios cobrados a clientes. Históricamente el mercado ecuatoriano registra índices del 8 al 30% de rebaja anual en el costo cobrado por terceros. En el caso de los precios de servicios, se maneja un 20% de revisión anual a la baja facturado a clientes finales. Con esto se consigue ser competitivo en el mercado de portadores y manejar valores de TIR realistas (en el mercado de Telecomunicaciones hablamos de un 30 al 40%).
- El proyecto ha sido diseñado para un horizonte de tiempo de vida de 36 meses, los indicadores de flujo acumulado indican un punto de equilibrio de 25 meses, este indica el tiempo en el que se ha recuperado la inversión en el proyecto, desde este momento en adelante el proyecto comienza a exhibir ganancias.
- El proyecto tiene un punto de máxima exposición de capital de \$290K, este punto refleja la máxima provisión de fondos durante la vida útil del proyecto, este

aprovisionamiento debe buscarse mediante fondos propios o externos, ya que al margen de la rentabilidad del proyecto, el no aprovisionamiento de la máxima exposición podría congelar la ejecución del proyecto.

- En condiciones de falla, los KPI evaluados en la tabla 35 se mantuvieron dentro del rango definido por la sección 3.7 de los requerimientos de SLA para video.

7.2. RECOMENDACIONES

- En el análisis financiero no se consideraron los costos de operación como son los sueldos de los operadores ni los costos de mantenimiento de red mensual y anual. Tampoco el valor asociado al impuesto a la renta, el valor del 15% de utilidades al trabajador o el valor asociado a la depreciación de los equipos. Estos valores pueden ser añadidos o evaluados en próximos trabajos de investigación con resultados más precisos, pero aun así, bajo estas limitantes, este proyecto fue evaluado bajo las condiciones más extremas en las que no se tiene red propia y se utiliza a terceros para los enlaces de datos.
- En los proyectos de inversión, es indispensable mantener un fondo de capital para el momento de máxima exposición, por ello el flujo de caja acumulado debe mostrar este escenario, para permitir a los inversionistas mantener a flote el proyecto. Muchos de los proyectos por no aprovisionar este fondo no llegan a su fin. En el caso de esta investigación es de mínimo de \$290,015 dólares americanos en el sétimo mes.
- Hay algunas futuras investigaciones respecto al transporte de video que quedan abiertas después de este trabajo con la herramienta UNL:
 - Utilización de VPLS o EVPN en vez de VPN L3 para el transporte de video.
 - Uso de IPV6 y multícast en la transmisión de video, en conjunto con las tecnologías mLDP global o mLDP + mVPN
 - La utilización de ingeniería de tráfico punto a multipunto (P2MP TE, point to multipoint Traffic Engineer) para el video en multicast

ANEXOS